

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Měření závislosti přeskokového napětí podpěrného
izolátoru na čase**
**Measurement of the Flashover Voltage at the Time
for the Support Insulator**

Zadání bakalářské práce

Student:

Jonáš Musial

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Měření závislosti přeskokového napětí podpěrného izolátoru na čase
Measurement of the Flashover Voltage at the Time for the Support
Insulator

Zásady pro vypracování:

1. V programu EMTP-ATP vytvořte model měření závislosti přeskokového napětí na čase.
2. Při tvorbě modelu vycházejte z dříve naměřených hodnot.
3. Proveďte vlastní měření a verifikujte vytvořený model.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dokumentace programu EMTP-ATP

URBANIEC, Martin. Bakalářská práce. Ostrava 2008

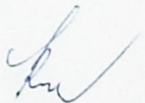
URBANIEC, Martin. Diplomová práce. Ostrava 2010

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

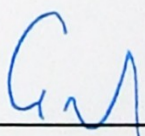
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Veleslav Mach**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

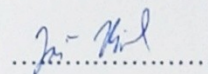



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7.5.2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jonáš Musial', is written over a horizontal dotted line.

Jonáš Musial

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá měřením a vyhodnocením přeskokových napětí a následně jejich simulací v programu EMTP-ATP. Práce obsahuje jak úvod do problematiky vzniku, měření a vyhodnocování těchto přeskoků, tak i skutečné měření na zkušebním impulzním generátoru napětí. Nejdůležitější částí práce je pak popis vytvořeného modelu měření přeskokových napětí s ověřením jeho funkčnosti.

Klíčová slova

Vysoké napětí, přeskokové napětí, přepětí, atmosférický impulz, měření, impulzní generátor, EMTP-ATP, model

Abstract

This bachelor thesis deals with a measurement and evaluation flashover voltages and consequently their simulations in program EMTP-ATP. The work contains both an introduction to the problems of creation, measurement and evaluation of these flashovers and the actual measurement on the test voltage impulse generator. The most important part is the description of the created model of flashover voltages measurements with verification of its functionality.

Key words

High voltage, flashover voltage, overvoltage, lightning impulse, measurement, impulse generator, EMTP-ATP, model

Seznam použitých symbolů

C_D	F	kapacitní dělič
I_m	A	maximální hodnota proudu výboje
n		počet stupňů generátoru
O	μs	počátek
O_I	μs	zdánlivý počátek
R_D	Ω	odpor děliče napětí
R_N	Ω	nabíjecí rezistor
R_P	Ω	paralelní rezistor
R_S	Ω	sériový rezistor
R_{SE}	Ω	vnější sériový rezistor
t_s	μs	statistická doba zpoždění
t_v	μs	doba výstavby
T	μs	interval mezi dobami odpovídajícím napětí 30 % a 90 % vrcholové hodnoty impulzu
T'	μs	násobek doby čela
T_I	μs	doba čela
T_2	μs	doba půltýlu
T_C	μs	doba do useknutí
T_N	s	doba nabíjení generátoru
U	kV	napětí
U_f	V	hodnota zkušebního napětí
U_m	V	amplituda přepět'ové vlny
U_s	V	statické přeskokové napětí
Z_0	Ω	impedance vedení

Seznam zkratk

EMTP-ATP	ElectroMagnetic Transients Program – Alternate Transients Program
KJ	kulové jiskřiště
TACS	Transient Analysis of Control Systems

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Problematika přeskokových napětí	2
2.1	Přepětí	2
2.1.1	Dočasná	2
2.1.2	Spínací	2
2.1.3	Atmosférická	2
2.2	Přeskokové napětí	4
2.3	Procesy při přeskoku	4
2.4	Zpoždění výboje	4
3.	Měření	6
3.1	Tvar zkušebního impulsu a vyhodnocování přeskokového napětí	6
3.1.1	Voltsekundová charakteristika	7
3.2	Zkušební postupy	8
3.3	Impulzní generátory	9
3.3.1	Impulzní generátor SGSA 700-35	9
3.4	Převzaté měření	11
3.4.1	Popis měření	11
3.4.2	Charakteristika	12
3.5	Vlastní měření	12
3.5.1	Schéma zapojení	12
3.5.2	Postup měření	13
3.5.3	Seznam použitých přístrojů	13
3.5.4	Atmosférické podmínky	13
3.5.5	Naměřené hodnoty	13
3.5.6	Popis měření	13
3.5.7	Charakteristiky	15
4.	Model v EMTP-ATP	16
4.1	EMTP-ATP	16
4.2	Model impulzního generátoru	16
4.3	Model přeskoků na izolátoru	18
4.4	Simulace	22
4.4.1	Simulace převzatého měření	22
4.4.2	Simulace vlastního měření	23
5.	Závěr	25
6.	Literatura	26
7.	Přílohy	27

1. Úvod

Hlavním cílem této práce je vytvoření takového modelu v programu EMTP-ATP, který je schopen z naměřených dat simulovat výskyt přeskoků na izolátoru při přiložení zkušební atmosférického impulsu.

První kapitola se zabývá vznikem přepětí, které vedou k přeskoku a fyzikálními procesy, kterými je přeskok doprovázen.

Druhá kapitola je zaměřena na měření. Popisuje zkušební impulzy, zkušební impulzní generátor a obsahuje popis měření, ze kterého se vycházelo při tvorbě modelu, i popis vlastního měření, kterým byla funkčnost vytvořeného modelu ověřena.

Další kapitola seznamuje čtenáře s použitým programem EMTP-ATP a věnuje se vytvořeným modelům impulzního generátoru a izolátoru. V závěru této kapitoly se poté nachází samotné simulace přeskoků a jejich grafické porovnání s naměřenými.

V závěru je vyhodnocena funkčnost modelu a příklady jeho reálného použití.

2. Problematika přeskokových napětí

2.1 Přepětí

„Přepětí je napětí jakéhokoliv druhu, které je vyšší než amplituda nejvyššího napětí soustavy (viz. Tab. 2.1). V závislosti od místa přiložení dělíme:

- Přepětí proti zemi, které vztahujeme k nejvyššímu fázovému napětí soustavy.
- Přepětí mezi fázemi, které vztahujeme k nejvyššímu sdruženému napětí soustavy.“ [10]

Nejvyšší napětí je v tomto případě definováno jako nejvyšší efektivní napětí, které se může kdykoliv a kdekoliv v dané soustavě za normálních provozních podmínek vyskytnout.

Tab. 2.1 Jmenovitá a nejvyšší napětí elektrických soustav [10]

Jmenovité napětí (kV)	6	10	22	35	110	220	400	750
Nejvyšší napětí (kV)	7,2	12	25	38,5	123	245	420	787

Podle délky trvání a podle jejich vzniku přepětí dělíme do tří skupin. [10]

2.1.1 Dočasná

Slabě tlumená přechodná přepětí s poměrně dlouhou dobou trvání. Dělí se do tří skupin v závislosti na jejich frekvenci [10]:

- S provozní frekvencí sítě, či velmi blízkou. Vznikají například na konci vedení po ztrátě zatížení, nebo u nesouměrných poruch.
- S frekvencí vyšší než 50 Hz, například při zapnutí transformátoru v bloku s nezatíženým vedením.
- S frekvencí nižší než 50 Hz. Může vzniknout ve vedení se sériovou kompenzací.

2.1.2 Spínací

Spínací přepětí vznikají při změnách na vedení, mají oscilační charakter a zpravidla dosahují mnohem menších hodnot, než přepětí atmosférická.

Tato přepětí vznikají v následujících situacích [10]:

- Při zemních spojení v třífázových soustavách
- Při vypínání zkratů
- Při vypínání malých ryze induktivních proudů
- Při vypínání kapacitních proudů
- Při zapínání nezatížených vedení

2.1.3 Atmosférická

Atmosférické výboje mohou vzniknout navzájem mezi různými mraky nebo mezi mraky a zemským povrchem. Tyto výboje vznikají z důvodu rozdílných elektrických nábojů ve vzdušném

obalu Země. Pro nás jsou nejdůležitější výboje mezi mraky a Zemí, které můžeme rozdělit do čtyř skupin v závislosti na polaritě mraku a na směru šíření výboje:

- *Negativní výboj mrak → Země*, kdy má mrak vůči Zemi negativní polaritu a výboj postupuje od mraku k povrchu Země, přičemž přenáší záporný náboj.
- *Negativní výboj Země → mrak*. I zde má mrak vůči Zemi zápornou polaritu, ale tentokrát postupuje výboj směrem od zemského povrchu k mraku a stejným směrem přenáší i kladný náboj.
- *Pozitivní výboj mrak → Země*. Mrak má vůči zemi polaritu kladnou, výboj má sestupný směr a nese kladný náboj.
- *Pozitivní výboj Země → mrak*. Podobně jako v předchozím případě, má mrak kladnou polaritu, ale výboj má opačný směr a přenáší záporný náboj.

Na našem území se vyskytují hlavně negativní výboje (až 90 % ze všech zaznamenaných výbojů), které postupují směrem z mraku k Zemi. Doba čela blesku bývá průměrně 2 μ s a průměrná amplituda proudu blesku nabývá hodnoty 20 - 40 kA a výjimečně i více než 100 kA (1,8 % zaznamenaných případů). Na našem území udeří ročně průměrně 29,2 blesků na 100 km vedení.

Vznik atmosférických přepětí

Nepřímými údery (indukovaná přepětí)

Vzniká pomocí elektrostatické a elektromagnetické indukce od blesku, který udeřil mimo vedení. Šíří se ve tvaru vlny rychlostí světla.

Údery do fázových vedení

Při úderu blesku přímo do fázového vodiče se začne po tomto vodiči šířit na obě strany rázová vlna, jejíž amplituda může mít velikost až miliony voltů. Zároveň se indukuje napětí v okolních vodičích.

Velikost přepětíové vlny lze určit ze vztahu 2.1:

$$U_m = Z_0 \frac{I_m}{2} \quad (2.1)$$

Údery do zemnicích lan

Podobně jako při úderu do fázového vedení, i zde dochází po úderu blesku k šíření rázové vlny do obou stran, při čemž se indukují napětí i ve vodičích fázových. Zároveň může dojít i ke zpětnému přeskoku, pokud je rozdíl napětí mezi zemnicím lanem a fázovým vodičem větší, než napětí přeskokové. Z tohoto důvodu se zemnicí lana nepoužívají u vedení do 22 kV, kde by byla pravděpodobnost zpětného přeskoku mnohem vyšší.

Údery do stožárů

Velikost přepětí je závislá na velikosti vlnové impedance stožáru a jeho indukčnosti, na rozpětí, na vlnové impedanci vedení, zemnicích lan apod. Stejně jako při úderu do zemnicího lana, i zde hrozí riziko zpětného přeskoku. [1], [10]

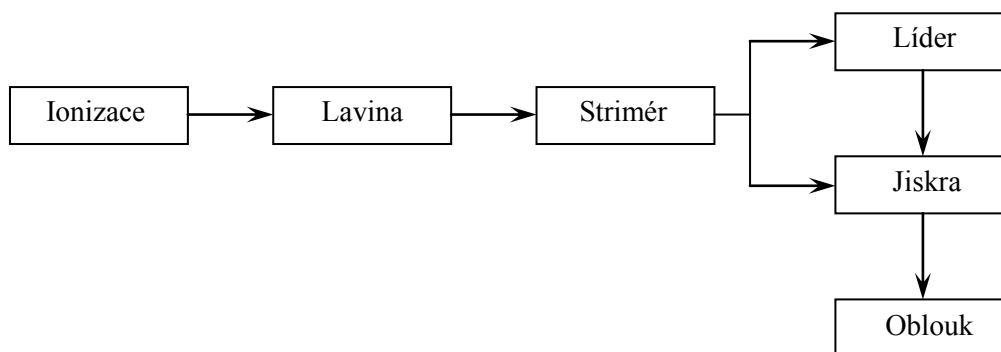
2.2 Přeskokové napětí

Je hodnota napětí, při níž dojde k výboji mezi elektrodami v plynném či kapalném izolantu. Tento jev bývá přechodný. Je spojen s poklesem napětí na elektrodách a (při dostatečně výkonném zdroji) s velkým proudem a vysokou teplotou. Izolant při tomto ději dočasně ztrácí svou elektrickou pevnost.

Velikost tohoto napětí je závislá na mnoha faktorech. Například na elektrické pevnosti izolantu, rozměrech, teplotě, vlhkosti, tlaku, časovém průběhu elektrického namáhání, tvaru elektrického pole nebo na množství nečistot. [10]

2.3 Procesy při přeskoku

Aby mohlo dojít k přeskoku a plynem (vzduchem) mohl téct proud, je potřeba, aby se v plynu nacházelo dostatečné množství nabitých částic, jako jsou elektrony a kladné či záporné ionty. Při přiložení dostatečně velkého napětí se vytvoří odpovídající elektrické pole, což nejprve vede k ionizaci plynu. Při dalším zvyšování napětí může ionizace vést k dalším fyzikálním procesům, jak je ukázáno na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 Procesy při přeskoku v plynech [6]

Exponenciálním nárůstem nabitých částic vznikne lavina, v jejímž čele se nachází elektrony a v jejím týlu kladné ionty. Lavina dokáže vodivě spojit elektrody na malé vzdálenosti. Při větších vzdálenostech elektrod, přechází lavina ve strimér. Jedná se v podstatě o spojení několika lavin, které vznikly emisí fotonů z první laviny. Pro vznik striméru při záporné polaritě napětí, je potřeba přibližně 3krát vyšší intenzita pole, než při polaritě kladné. Při velkých vzdálenostech elektrod (desítky cm a více) dochází vlivem velké teploty striméru k další ionizaci plynu, což vede ke zvýšení intenzity pole a vzniku dalších strimérů. Tím dochází k prodlužování vodivého kanálu a k dalšímu zvyšování jeho teploty, čímž se formuje tepelně ionizovaný kanál v silně nehomogenním poli, zvaný líder. Na výkonu zdroje pak závisí, zda dojde pouze k jiskře nebo k vytvoření oblouku. [5], [6], [10]

2.4 Zpoždění výboje

Stejně jako každý jiný fyzikální úkaz, i přeskok potřebuje ke svému vytvoření, jistý čas. Proto při přiložení přeskokového nebo většího napětí na svorky elektrod nedojde k přeskoku ihned, ale až za určitou dobu. Tato doba je však velmi krátká a u stejnosměrných napětí nebo u napětí střídavých

s malým kmitočtem není příliš důležitá. Avšak velmi důležitou roli hraje u impulsních napětí, kde se podle ní vyhodnocuje závislost přeskovového napětí na čase (více v kapitole 3.1). Právě na době zpoždění také závisí, jestli při přiložení impulzního napětí na svorky elektrod k přeskoku vůbec dojde. Tato doba totiž může být tak dlouhá, že v týlu vlny v tu chvíli již nemusí být dostatečně vysoké napětí, aby se mohl přeskok uskutečnit. Ve většině literatury se uvádí, že se doba zpoždění výboje skládá ze dvou částí, statistické doby zpoždění t_s a doby výstavby t_v . Doba zpoždění je pak dána jejich součtem:

$$t = t_s + t_v \quad (2.2)$$

Je ale vhodné zmínit, že například V. Y. Ushakov ve své knize do doby zpoždění výboje započítává ještě dobu t_0 , kterou definuje jako interval mezi časem, kdy je na svorkách nulové napětí a časem, kdy napětí na svorkách dosáhne velikosti statického napětí. Celková doba zpoždění je pak podle něj dána vztahem:

$$t = t_0 + t_s + t_v \quad (2.3)$$

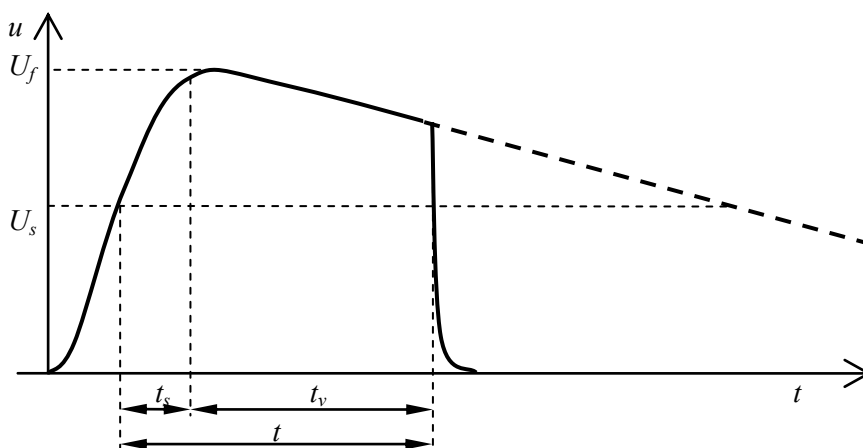
Statistická doba zpoždění

Je to interval, mezi časem, kdy se na svorkách objeví statické přeskovové napětí U_s (tj. stejnosměrné nebo střídavé napětí, při kterém vždy dojde k přeskoku, ale za libovolně dlouhou dobu) a časem, kdy se mezi elektrodami objeví volný elektron, díky kterému započne ionizace. Doba, za kterou se v daném prostoru objeví volný elektron, je vždy různá a nejde předem určit. Proto má tato doba statistický charakter. Množství času je závislé na míře ionizace, velikosti vzduchové mezery, tvaru a materiálu elektrod, či velikosti přepětí vůči napětí U_s . Doba se dá zkrátit například použitím zdroje UV záření nebo většího přepětí.

Doba výstavby

Závisí převážně na mechanismu průrazu a jeho rychlosti. Čas roste se zvyšující se nehomogenitou pole a se vzdáleností elektrod. Naopak klesá s rostoucí velikostí přepětí.

Aby mohlo dojít k přeskoku při impulsním napětí, musí být amplituda této vlny vždy vyšší než napětí statické a to tím víc, čím větší je strmost jejího čela. [4], [6], [9], [10]



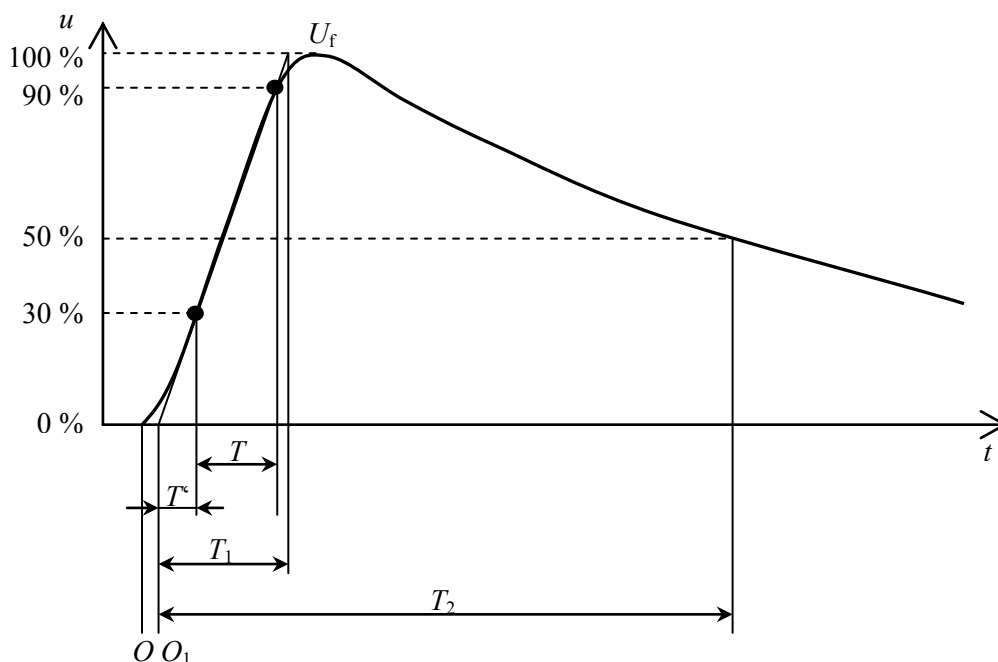
Obr. 2.2 Zpoždění výboje při impulsním napětí [4]

3. Měření

3.1 Tvar zkušebního impulsu a vyhodnocování přeskokového napětí

Měření přeskokového napětí se provádí pomocí impulzního napětí (v některé literatuře jsou tato napětí označovaná také jako rázové vlny). Jedná se o normalizovaný aperiodický průběh napětí, který velmi rychle narůstá do vrcholové hodnoty a poté pomalu klesá k nule. Má tedy tvar vlny. Pro simulaci spínacích přepětí se používá spínací impuls napětí a pro simulaci atmosférických přepětí atmosférický impuls napětí. Tyto impulzy se liší dobou trvání čela vlny. Do 20 μs se jedná o atmosférické impulzy a nad 20 μs o spínací. Tato napětí vznikají obvykle v impulzních generátorech a jsou normalizovaná.

Normalizovaný atmosférický impuls napětí je dán polaritou, amplitudou, dobou čela, dobou půltýlu a má označení 1,2/50. Viz Obr. 3.1. [2]



Obr. 3.1 Plný atmosférický impuls napětí [2]

Platí:

U_f – Hodnota zkušebního napětí s tolerancí $\pm 3 \%$

T_1 – Doba čela - 1,2 μs s tolerancí $\pm 30 \%$. Je to $1/0,6$ násobek intervalu T mezi dobami odpovídajícím napětí 30 % a 90 % vrcholové hodnoty.

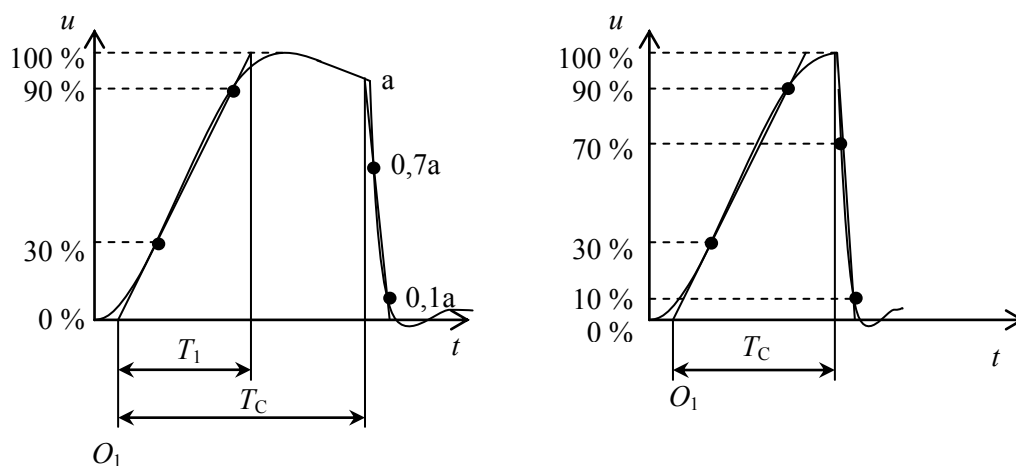
T_2 – Doba půltýlu - 50 μs s tolerancí $\pm 20 \%$. Jedná se o časový interval mezi zdánlivým počátkem O_1 a momentem, kdy napětí klesne na polovinu své vrcholové hodnoty.

T' – Časový interval definovaný jako $T' = 0,3 \cdot T_1 = 0,5 \cdot T$

O – Počátek

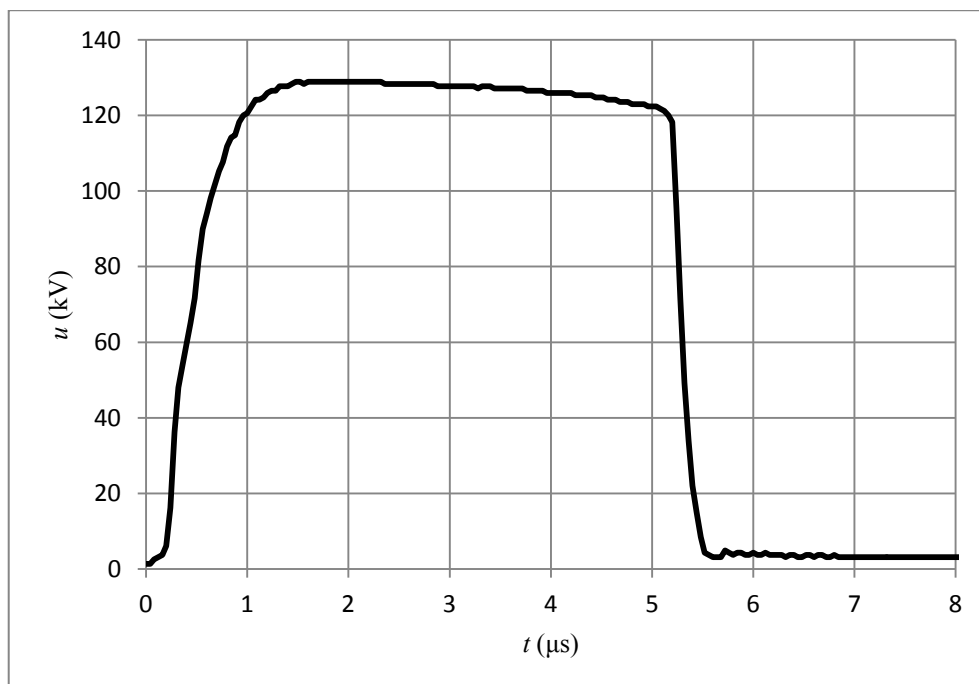
O_1 – Zdánlivý počátek – okamžik nacházející se o T' před okamžikem, kdy napětí nabude 30 % vrcholové hodnoty.

Pokud dojde při impulzu k přeskočení, mluvíme o useknutém impulzu napětí.



Obr. 3.2 Useknuty atmosférický impulz napětí v týlu a v čele [2]

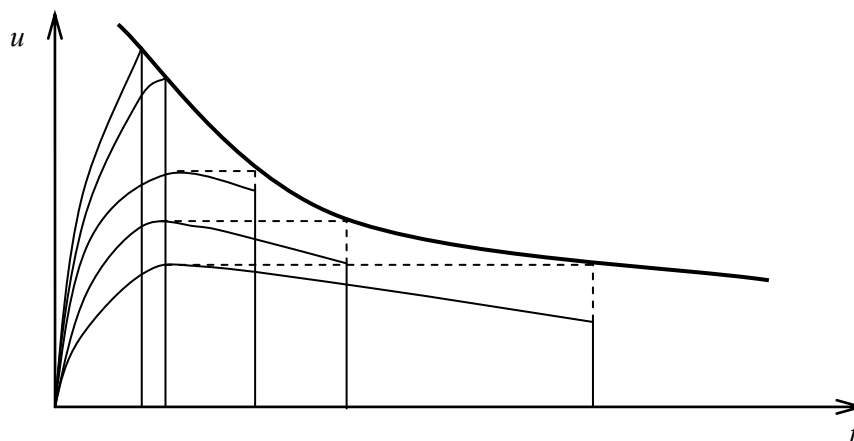
Kde T_C označuje dobu do useknutí.



Obr. 3.3 Skutečný useknutý impulz napětí v týlu zaznamenaný při měření

3.1.1 Voltsekundová charakteristika

Vlastnosti zkoušeného zařízení jsou poté dány voltsekundovou charakteristikou (někdy bývá označovaná také jako rázová charakteristika), která znázorňuje závislost doby zpoždění na velikosti impulzního napětí (Obr. 3.4). Pokud dojde k přeskočení v týlu vlny, zakreslí se do časové osy čas přeskočení a do napěťové osy velikost amplitudy impulzu. V případě, že dojde k přeskočení ještě v čele vlny, zakreslí se čas přeskočení a okamžitá velikost napětí v tomto čase.



Obr. 3.4 Voltsekundová charakteristika [10]

Tvar charakteristiky je dán testovaným zařízením, tvarem zkušebního impulzu, polaritou impulzu a dalšími vlivy, jako jsou atmosférické podmínky nebo znečištění objektu. Z důvodu statistické povahy časů přeskoků je nutné provést pro každou hodnotu napětí několik měření. Voltsekundová charakteristika je důležitá při návrhu ochran proti přepětí a koordinace izolace. [2], [6], [10]

3.2 Zkušební postupy

Podle klasifikace izolace zkoušeného objektu (vnější izolace, vnitřní izolace, samočinně obnovující se izolace, samočinně neobnovující se izolace) se zvolí pro daný zkoušený objekt vhodný postup zkoušky výdržným napětím.

Postup A

Na zkoušený objekt se přiloží tři impulzy určité velikosti napětí, tvaru a polarity. Pokud ani jednou nedojde k poruše objektu, jsou požadavky zkoušky splněny. Používá se hlavně pro zkoušky s izolací degradovanou nebo samočinně se neobnovující.

Postup B

Na zkoušený objekt se přiloží patnáct impulzů o dané velikosti, tvaru a polarity a nesmí dojít k více než dvěma průrazům.

Postup C

Podobně jako v postupu A se na objekt přiloží tři impulzy. Pokud nedojde k průrazu, objekt vyhověl. Pokud dojde k více než jednomu průrazu, objekt nevyhověl. Pokud dojde k jednomu průrazu, přiloží se na objekt dalších devět impulzů a pokud během nich nedojde k žádnému průrazu, objekt vyhověl.

Postup D

V tomto postupu se vyhodnocuje 10% napětí průrazného výboje pomocí statistických zkušebních postupů. Napětí U_{10} nesmí být menší než stanovené výdržné napětí objektu. Pro získání potřebných údajů pro výpočet se používá zkušební metoda více hladin (pro každou napěťovou hladinu se provede několik zkoušek) nebo metoda nahoru-dolů (velikost impulzu se zvětšuje, dokud nedojde k průrazu. Poté se velikost napětí impulzu sníží a opět se zvyšuje, dokud nedojde k průrazu. Postup se opakuje, dokud není nalezeno napětí, při němž dochází k průrazu pravidelně). [2]

3.3 Impulzní generátory

Impulzní generátory se používají ke generování impulzních napětí nebo proudů. Podle tohoto se generátory dělí na impulzní generátory napětí a impulzní generátory proudu.

Impulzní generátory napětí jsou v podstatě tvořeny kondenzátory, které jsou paralelně nabíjeny stejnosměrným napětíovým zdrojem a poté jsou velmi rychle pomocí jiskřišť sériově vybíjeny přes odpory do obvodu, v němž je zahrnut zkoušený objekt. [2]

„Impulzní generátor proudu je řešen jako sériový obvod R, L, C. Opět se používá baterie vysokonapětíových kondenzátorů a spínacím jiskřištěm dochází k jejímu vybití“ [5]

3.3.1 Impulzní generátor SGSA 700-35

Generátor SGSA, který se nachází ve zkušebně vysokého napětí Katedry elektroenergetiky v areálu VŠB-TUO, je jedním z typů, které vyrábí švýcarská firma Haefely, která má s výrobou impulzních generátorů velké zkušenosti (vyrábí je již od roku 1932). Dá se použít pro generování zkušebního impulzního napětí s amplitudou od 100 kV do 700 kV pro simulaci atmosférických i spínacích přepětí. Generátor je navržen pro zkušební impulzy 1,2/50 a 250/2500 μ s s maximální energií 35 kJ při sedmistupňovém sériovém zapojení (tedy 5 kJ na jeden stupeň). Splňuje podmínky pro testování podle norem ČSN, IEC, ANSI/IEEE a dalších vnitrostátních norem.

Základní systém tohoto typu generátoru jde dále různými způsoby vylepšovat kvůli speciálním zkouškám, snadnějšímu ovládání nebo pro optimalizování testovacího impulsu pro určité zkoušky, jako jsou například:

- Zkoušky distribučních transformátorů
- Zkoušky kabelů
- Zkoušky motorů a generátorů
- Zkoušky izolátorů
- Zkoušky průchodek a koncovek a další

Způsoby zapojení

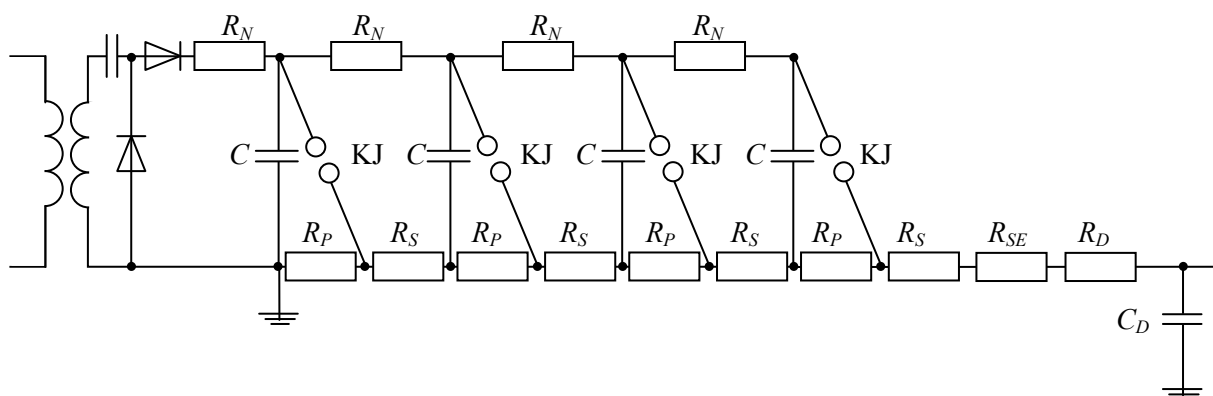
Impulzní generátor se skládá z několika stupňů. Nejnižší napětí je 100 kV při jednostupňovém zapojení. Ostatní stupně mohou být připojeny sériově nebo paralelně. Možné kombinace zapojení tedy jsou:

- 1-7 stupňů sériově (1S - 7S)
- 1-7 stupňů paralelně (1P – 7P)
- 2 stupně sériově a 2 paralelně (S2P2)
- 3 stupně sériově a 2 paralelně (S3P2)
- 2 stupně sériově a 3 paralelně (S2P3)

Zapojení 4S

Impulzní generátor pracuje na principu Marxova generátoru. Schéma zapojení čtyřstupňového generátoru je možno vidět níže na obrázku 3.5. Celý proces nabíjení a vybíjení je řízen řídicím systémem. Po nastavení požadovaných hodnot na řídicím počítači, jsou vysokonapětíové

kondenzátory paralelně nabíjeny napájecím usměrňovačem přes nabíjecí rezistory. Po dosažení požadované velikosti napětí na kondenzátorech, vyšle systém signál a sepnou první kulové jiskřiště. Tím se do série spojí dva nabité kondenzátory a na jiskřišti o úroveň výše vznikne napětí dvojnásobné, které již překračuje přeskokové napětí kulového jiskřiště a dojde samočinně k přeskoku. Takovýmto způsobem sepnou velmi rychle za sebou (tzv. lavinovitě) všechna kulová jiskřiště a kondenzátory jsou tak spojeny do série. Na výstupu se objeví napětí odpovídající součtu napětí všech zapojených stupňů. Při čtyřstupňovém zapojení tedy až 400 kV. Tvar této impulzní vlny je dán velikostí sériových a paralelních rezistorů. S výstupem impulzního generátoru je pak skrze vnější sériový odpor spojen zkoušený objekt a kapacitní dělič napětí, který nám, respektive měřicímu systému, umožňuje průběh impulzního napětí změřit a vyhodnotit. [8]



Obr. 3.5 Schéma zapojení 4S [4]

Kde:

R_N - Nabíjecí rezistor o velikosti 4,8 k Ω

R_P – Paralelní rezistor o velikosti 68 Ω

R_S – Sériový rezistor o velikosti 12 Ω

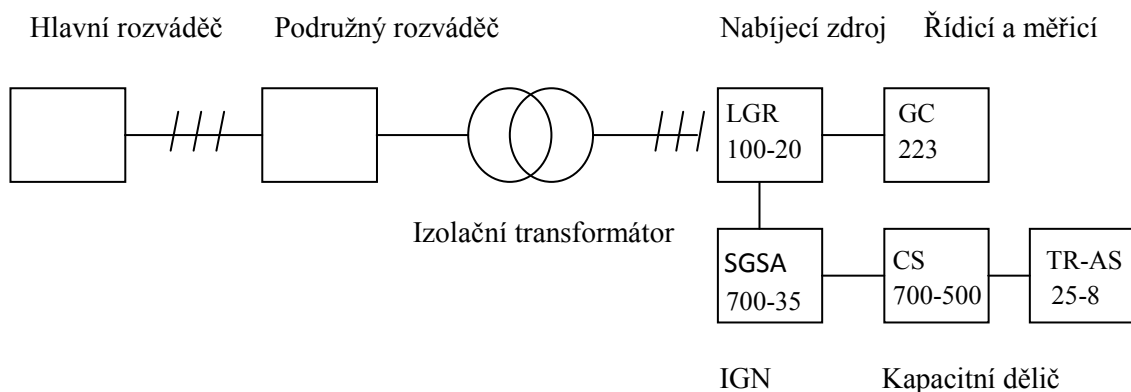
R_{SE} – Vnější sériový rezistor o velikosti 500 Ω

R_D – Odpor děliče napětí o velikosti 270 Ω

C_D – Kapacitní dělič o velikosti 500 pF

C – Vysokonapěťový kondenzátor o velikosti 1000 nF

KJ – Kulové jiskřiště



Obr. 3.6 Celkové zapojení [8]

3.4 Převzaté měření

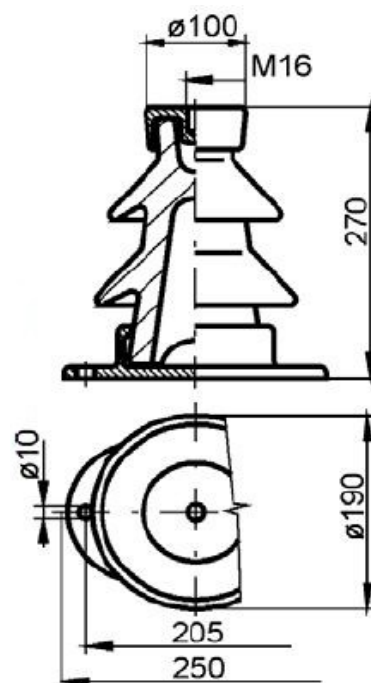
3.4.1 Popis měření

Pro tvorbu modelu v kapitole 4 se vycházelo z již dříve naměřených hodnot přeskokového napětí. Konkrétně se jednalo o měření, které provedl Martin Urbaniec v rámci své bakalářské práce Měření přeskokového napětí pomocí SGSA 700-35 z roku 2008.

Měření se provádělo v areálu Vysoké školy báňské na impulzním generátoru SGSA 700-35 firmy Haefely, který byl podrobněji popsán již v kapitole 3.3.1. Jako zkušební objekt tehdy posloužil porcelánový staniční podpěrný izolátor firmy Elektroporcelán Louny s označením CPB 7.5/75a. Tento izolátor je určen pro venkovní použití a pro jmenovitá napětí o velikosti 35 kV. Další technické údaje se nachází v tabulce 3.1 a na obrázku 3.7. [7]

Tab. 3.1 Technické údaje izolátoru CPB 7,5/75a [7]

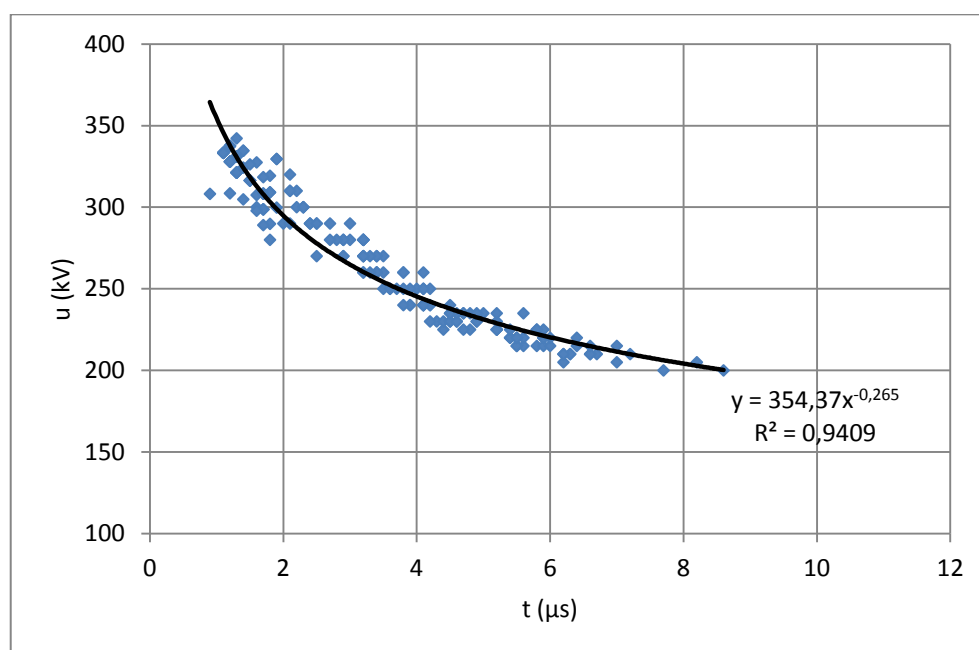
Typ			CPB 7,5/75a
Zkušební rázové napětí		kV	75
Průrazné střídavé napětí		kV	120
Povrchová dráha		mm	320
Přeskokové střídavé napětí	za sucha	kV	72
	za deště	kV	48
Mechanická pevnost v ohybu		kN	7,5
Hmotnost ($\pm 10 \%$)		kg	10,3



Obr. 3.7 Rozměry izolátoru CPB 7,5/75a [7]

Naměřené hodnoty napětí a časů přeskoků, které Martin Urbaniec získal během svého měření, se nacházejí v příloze A. V příloze B se pak nachází tabulka, kde došlo k úpravě velikosti napětí, v případě že došlo k přeskoku v čele impulsu. Velikosti těchto napětí se určily z modelu impulzního generátoru, který je popsán níže v kapitole 4.

3.4.2 Charakteristika

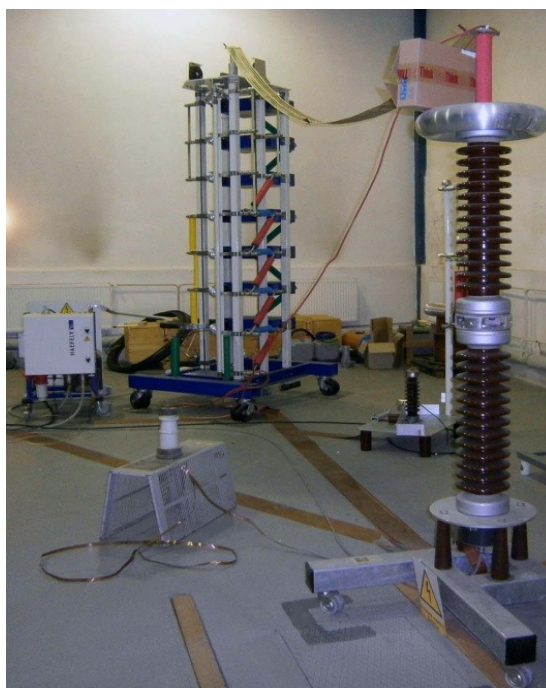


Obr. 3.8 Voltsekundová charakteristika hodnot z převzatého měření

3.5 Vlastní měření

Pro verifikaci vytvořeného modelu v EMTP-ATP bylo nutné provést skutečné měření přeskovového napětí v závislosti na čase. Toto měření bylo provedeno dne 28.1.2013 ve zkušebně vysokého napětí Katedry elektrotechniky v areálu Vysoké školy báňské v Ostravě.

3.5.1 Schéma zapojení



Obr. 3.9 Fotografie zapojení

3.5.2 Postup měření

- Zapojit generátor dle schématu a připojit zvolený izolátor.
- Odstranit nežádoucí objekty z okolí generátoru do vzdálenosti uvedené v manuálu.
- Provést měření metodou více hladin.
- Provést měření i pro zápornou polaritu.
- Z naměřených hodnot sestrojit voltsekundovou charakteristiku.

3.5.3 Seznam použitých přístrojů

Řídicí jednotka: GC 223 Haefely High Voltage Test

Impulzní generátor: SGSA 700-35 Haefely High Voltage Test

Měřicí systém: TR-AS 25-8 Dr. Strauss System-Elektronik GmbH

3.5.4 Atmosférické podmínky

Teplota: 18 °C

Tlak: 1014 hPa

Vlhkost: 33 %

3.5.5 Naměřené hodnoty

Tabulka naměřených hodnot, včetně nastavených amplitud a časů nabíjení generátoru, je uvedena v příloze C. Tabulka s upravenými hodnotami pro potřeby vykreslení voltsekundové charakteristiky se nachází v příloze D.

3.5.6 Popis měření

Zkouška probíhala na zkušebním generátoru SGSA 700-35 firmy Haefely. Zkušební generátor byl ve čtyřstupňovém sériovém zapojení (4S) s maximální velikostí impulzního napětí 400 kV. Jako zkušební objekt byl vybrán porcelánový staniční podpěrný izolátor s označením EPL 62 4015B. K tomuto izolátoru nebyly v místě měření nalezeny žádné bližší technické údaje. Po kontaktování pravděpodobného výrobce, společnost Elektroporcelán Louny, byl tento izolátor identifikován jako jejich výrobek a byly mi formou emailu poskytnuty základní informace, nákres a katalog výrobků. Dle jejich vyjádření se jedná o podpěrný izolátor pro vnitřní použití z roku 1962. Tato společnost jej však dodávala pouze v holém provedení bez armatur k dalšímu zpracování. Z toho důvodu již nemají k dispozici jeho kompletní technickou dokumentaci, pouze výkres s rozměry (Obr. 3.10). Obdržel jsem navíc katalog s podobnými izolátory té doby, avšak žádný neodpovídal izolátoru použitému při tomto měření.

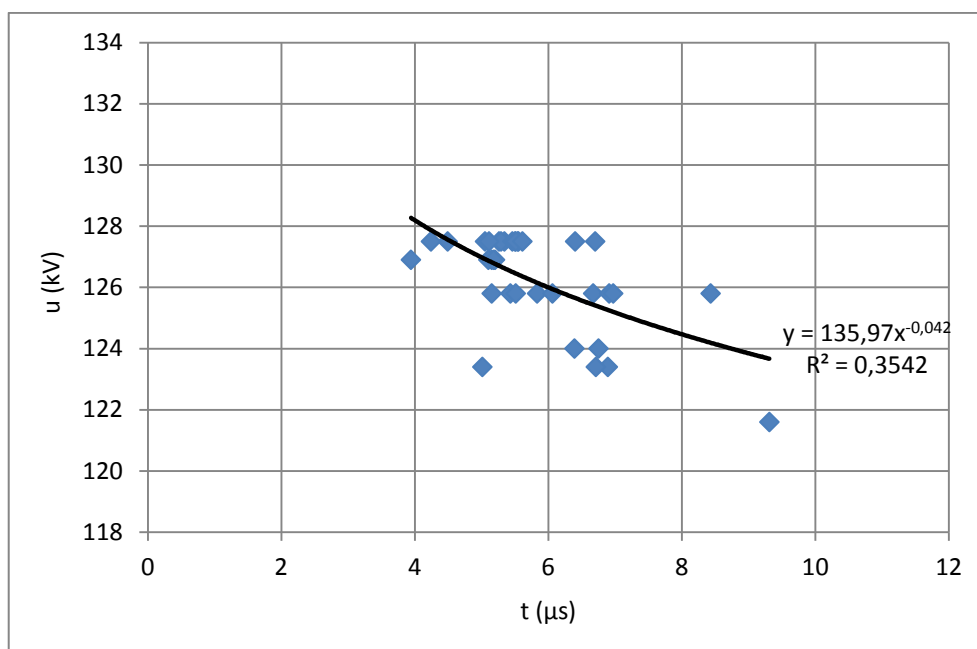
Parametry jednoho ze záporných impulzů:

$$T_1 = 0,96 \mu s$$

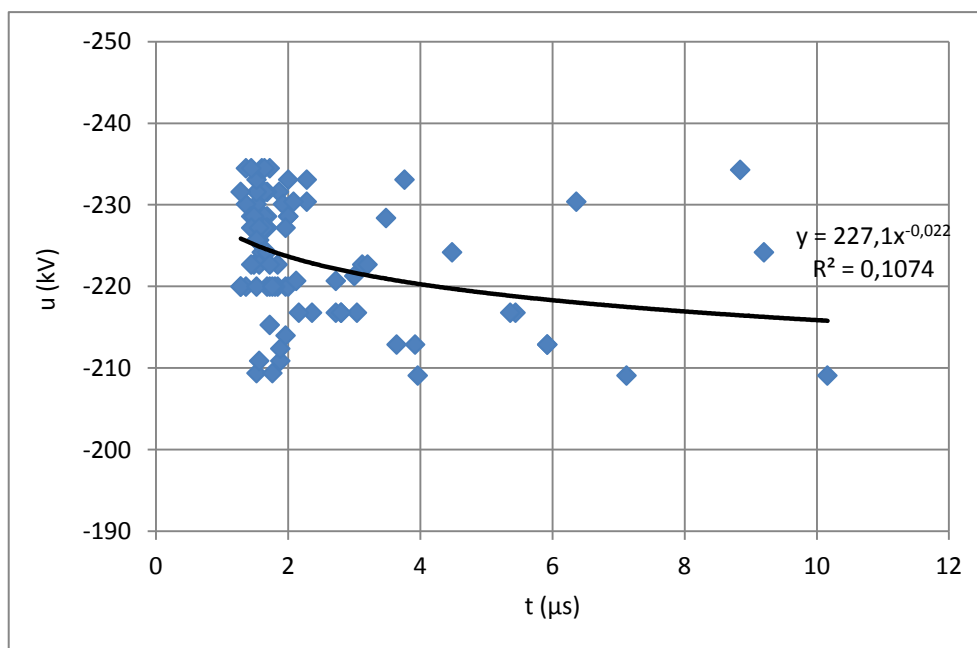
$$T_2 = 48,3 \mu s$$

Časy čel a půltýlů se v obou případech nachází v 30% a 20% tolerančním pásmu z hodnot $1,2 \mu s$ a $50 \mu s$. Impulzy tak splňují podmínky dané normou ČSN EN 60061-1 pro atmosférický napěťový impulz 1,2/50.

3.5.7 Charakteristiky



Obr. 3.11 Voltsekundová charakteristika vlastního měření pro kladnou polaritu



Obr. 3.12 Voltsekundová charakteristika vlastního měření pro zápornou polaritu

4. Model v EMTP-ATP

4.1 EMTP-ATP

Pro vytvoření modelu simulace měření přeskokového napětí byl použit program EMTP-ATP (ElectroMagnetic Transients Program – Alternate Transients Program).

Jedná se o program simulující převážně přechodné jevy elektromagnetické a elektromechanické povahy v elektrických sítích, vyvíjený již od roku 1984 a dostupný pod licencí Royalty-free. To v tomto případě zjednodušeně znamená, že je pro registrované uživatele zdarma, je však zakázáno jej dále volně šířit.

Základ tohoto programu má ryze textový charakter a jeho ovládání tak není pro koncového uživatele příliš přívětivé. Důležitým prvkem, který je uživateli k dispozici spolu s programem, je tak preprocesor ATP Draw. Jedná se o grafické, myši ovladatelné, rozhraní, díky němuž je práce mnohem snadnější a hlavně přehlednější. Změřené časové průběhy zaznamenané v EMTP-ATP je možno vykreslit, některým z dodávaných programů. V rámci této bakalářské práce bylo užito programu PlotXYWin.

K simulování různých jevů obsahuje EMTP-ATP řadu virtuálních prvků, které lze zapojit do požadovaného obvodu. Tyto prvky jsou rozděleny do několika skupin:

- *Sondy* – Slouží hlavně k měření proudu a napětí.
- *Lineární větve* – Jedná se o R, L, C součástky.
- *Nelineární větve* – Obsahuje nelineární rezistory a induktory.
- *Vodiče a kabely*
- *Přepínače* – zde patří například časově nebo napětově řízené přepínače, diody, tyristory, TACS spínače nebo spínače statistické a systematické.
- *Zdroje* – Různé druhy stejnosměrných nebo střídavých zdrojů.
- *Stroje* – Obsahuje motory stejnosměrné, synchronní, asynchronní apod.
- *Transformátory*
- *MODELS* – Umožňuje napsat svůj vlastní prvek v jazyce MODELS.
- *TACS* – Prvky podobné modelům.

Většina těchto prvků má své jednofázové a třífázové varianty. [3]

4.2 Model impulzního generátoru

Pro vytvoření modelu impulzního generátoru SGSA 700-35 bylo použito jeho zjednodušené schéma, které je na obrázku 4.1.

Jednotlivé parametry obvodu jsou dány vztahy:

$$\frac{1}{C'} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C} \Rightarrow C' = \frac{C}{n} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ nF} \quad (4.1)$$

$$R'_S = \sum^n R_S \Rightarrow R'_S = n \cdot R_S = 4 \cdot 12 = 48 \Omega \quad (4.2)$$

$$R'_P = \sum^n R_P \Rightarrow R'_P = n \cdot R_P = 4 \cdot 68 = 272 \Omega \quad (4.3)$$

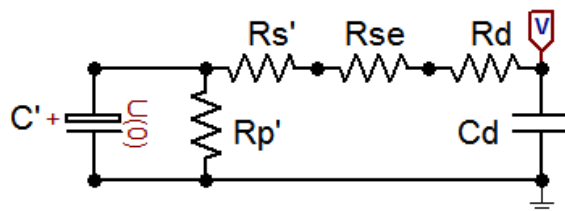
Kde n značí počet stupňů generátoru

Ostatní parametry zůstávají stejné, tedy:

$$R_{SE} = 500 \Omega$$

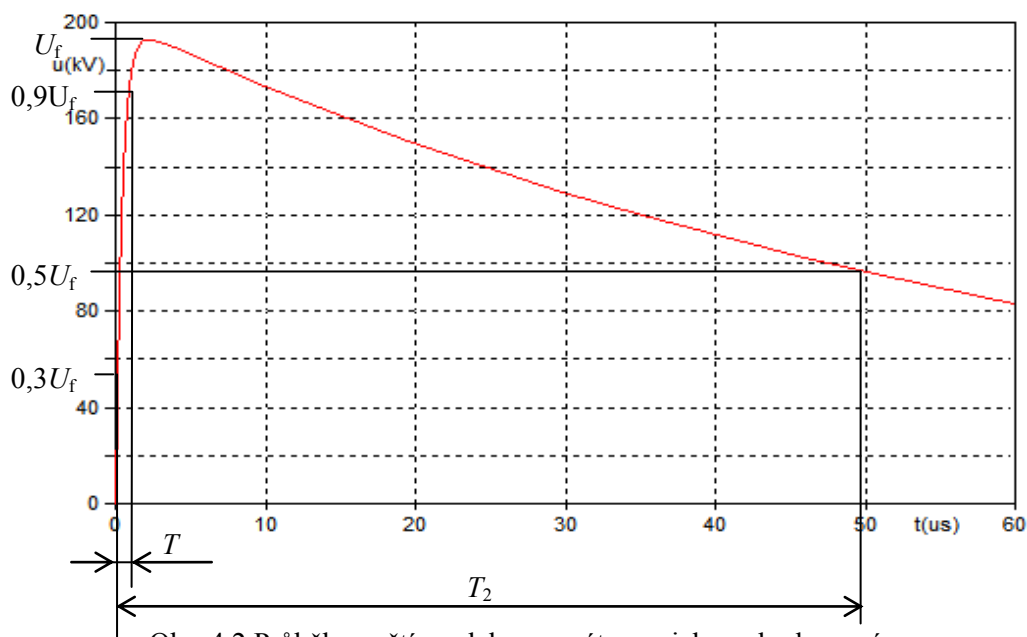
$$R_D = 270 \Omega$$

$$C_D = 500 \text{ pF}$$



Obr. 4.1 Schéma impulzního generátoru v programu EMTP-ATP

Prvky obvodu jsou tvořeny jednofázovými rezistory a kapacitami ze skupiny lineárních prvků programu. Velikosti jednotlivých parametrů jsou nastaveny podle seznamu výše. Kondenzátor C je v modelu tvořen nabitým kapacitorem a jeho velikost napětí určuje amplitudu impulzu. V uzlu před kapacitorem C_D , který nahrazuje kapacitní dělič, je zapojena jednofázová napěťová sonda, která zaznamenává průběh napětí. Celková doba simulace a délka jednoho kroku se nastavuje v podnabídce Settings nabídky ATP v horním menu preprocesoru ATP Draw.



Obr. 4.2 Průběh napětí modelu generátoru a jeho vyhodnocení

Hodnoty odečtené z programu PlotXYWin:

$$U_f = 193,05 \text{ kV}$$

$$T = 0,754 \text{ } \mu\text{s}$$

$$T_2 = 49,952 \text{ } \mu\text{s}$$

Z toho lze spočítat dobu čela jako $1/0,6$ násobek intervalu T :

$$T_1 = \frac{T}{0,6} = \frac{0,754}{0,6} = 12,56 \text{ } \mu\text{s} \quad (4.4)$$

Doba čela i doba půltýlu napěťového impulsu se bezpečně nachází v tolerančním pásmu, který udává norma pro zkušební napěťový impuls 1,2/50. Avšak napětí, které bylo nastaveno na 200 kV, se svou skutečnou velikostí 193,05 kV nachází mimo povolenou toleranci 3 %. Není to ale chyba, nýbrž vlastnost generátoru SGSA, kde je mimo jiné úbytek napětí způsoben vnějším sériovým odporem R_{SE} . Výrobce udává, že se v tomto odporu ztratí navíc přibližně 2 kV nad povolený rámec 3 %. Proto je nutné vždy nastavit velikost napěťového impulsu o několik kV větší. Může se tedy říct, že tento model funguje správně. [4], [8]

4.3 Model přeskoků na izolátoru

V případě realizace modelu izolátoru se, vzhledem ke statistickému charakteru přeskoků, nejprve jevila jako nejlepší cesta použití statistických a systematických přepínačů programu EMTP-ATP.

Tyto přepínače spínají či vypínají v náhodných okamžicích. Čas sepnutí/vypnutí statistického přepínače je dán rovnoměrnou (uniform) nebo normální (Gaussian) distribuční funkcí. Čas sepnutí nebo vypnutí systematického přepínače je pak lineárně závislý na počtu průběhů výpočtu. Při použití těchto prvků je totiž nutné zvolit, kolikrát se bude výpočet opakovat. Ale kvůli komplikovanosti a hlavně neuniverzálnosti tohoto řešení bylo od realizace pomocí statistických a systematických přepínačů upuštěno.

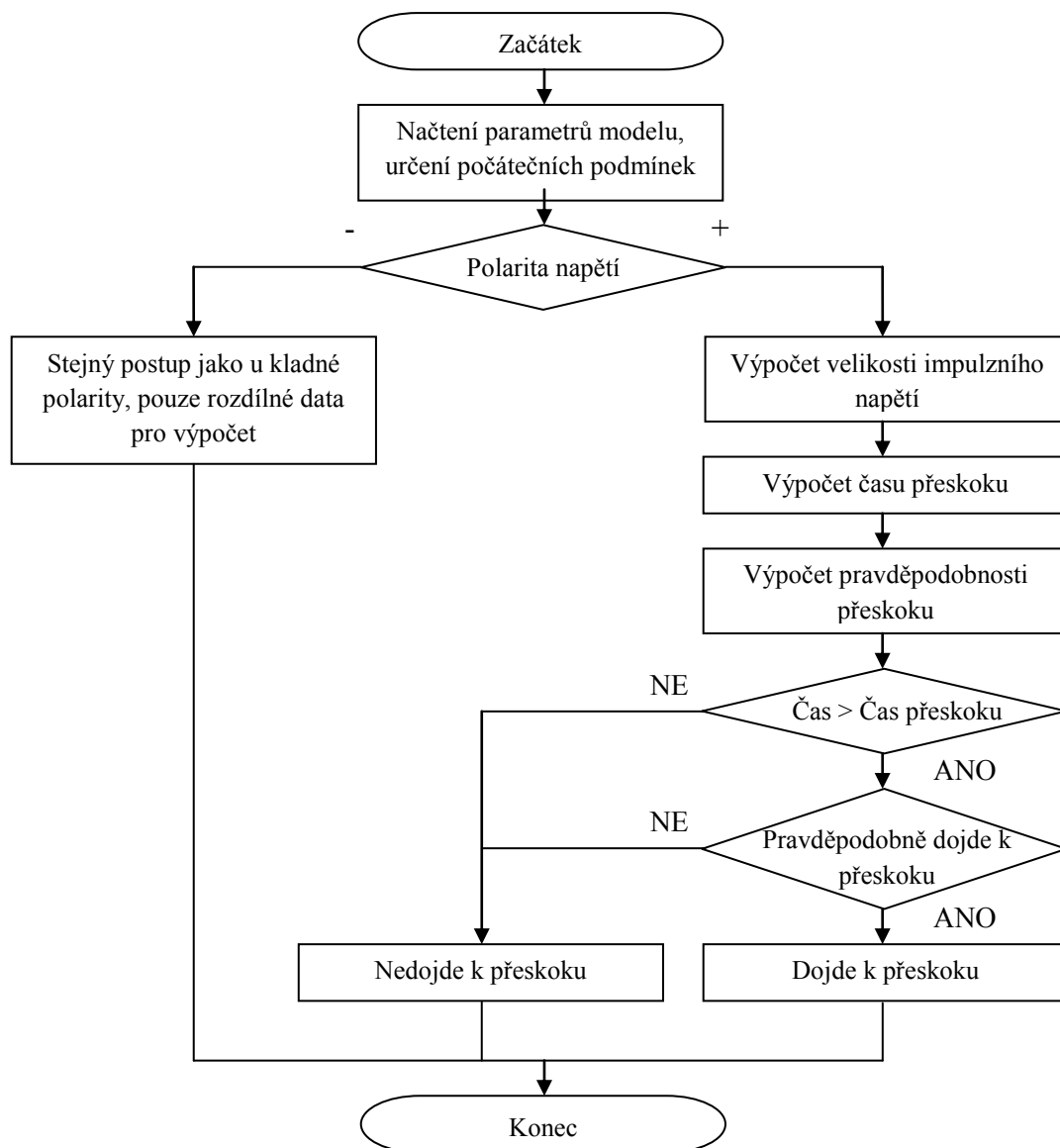
Jako nejvhodnější řešení se poté jevilo užití prvku MODELS, kde by bylo možné, i přes velmi malé zkušenosti s programováním, chování izolátoru napsat v programovacím jazyce MODELS. Jako hlavní výhoda bylo považováno zpřehlednění obvodu a univerzálnost, kdy by bylo možné jednoduše měnit chování prvku podle změřené voltsekundové charakteristiky.

MODELS je univerzální jazyk se sadou simulačních nástrojů pro studium časově závislých systémů. Je dbáno na to, aby byl jazyk přehledný a snadno čitelný a samotný kód programu, tak mohl zároveň sloužit i jako popis modelu.

Soubor programu MODELS se skládá ze tří částí:

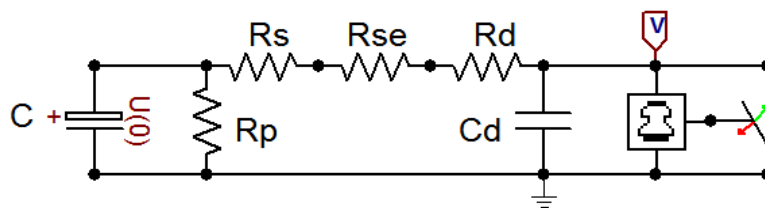
- Deklarace
 - *MODEL* – název modelu
 - *CONST* – určení konstant
 - *DATA* – názvy, případně i rozsah a výchozí hodnoty, nastavitelných parametrů modelu

- *VAR* – určení proměnných
- *INPUT* – určení vstupních hodnot
- *OUTPUT* – určení výstupních hodnot
- *FUNCTION* – určení použitých funkcí
- Simulační direktivy
 - jedná se o práci s časem, zpožděním či historií hodnot. Pro tuto práci nepotřebné.
- Operační procedury
 - *INIT* – procedury při inicializaci
 - *EXEC* – samotné logické operace programu



Obr. 4.3 Zjednodušený vývojový diagram funkce modelu izolátoru

Tento diagram se provádí znovu pro každý časový krok simulace.



Obr. 4.4 Schéma zapojení v programu EMTP-ATP

Jak je vidět ze schématu na obrázku 4.4, model izolátoru je připojen paralelně ke kapacitoru C_D , který znázorňuje kapacitní dělič skutečného impulzního generátoru. Model má dva napěťové vstupy, U_i , který je připojen na výstup generátoru a U_o , který je uzemněn, a jeden výstup. Na ten je připojeno ovládání spínače TACS, jehož svorky jsou připojeny paralelně k izolátoru. Pokud je na ovládací svorce tohoto spínače (a tím pádem na výstupu z modelu izolátoru) signál větší než 0, dojde k okamžitému sepnutí, což představuje přeskok.

Model obsahuje tyto nastavitelné parametry:

alfa_klad	Konstanty mocninné funkce změřené voltsekundové charakteristiky, která má tvar αx^r , pro kladnou polaritu.
r_klad	
U1_klad	Napětí, při kterém je pravděpodobnost přeskoků rovna hodnotě p1_klad.
p1_klad	Pravděpodobnost přeskoků při napětí U1_klad.
U2_klad	Napětí, při kterém je pravděpodobnost přeskoků rovna hodnotě p2_klad.
p2_klad	Pravděpodobnost přeskoků při napětí U2_klad.
alfa_d_klad	Zvolená odchylka konstanty alfa_klad v procentech.
Us_klad	Zvolená velikost statického napětí pro kladnou polaritu.
alfa_zap	Nastavení pro zápornou polaritu. Význam je stejný jako pro alfa_klad apod.
r_zap	
U1_zap	
p1_zap	
U2_zap	
p2_zap	
alfa_d_zap	
Us_zap	

Rozdílem hodnot na vstupech U_i a U_o se určuje aktuální velikost napětí a jeho polarita. Podle polarity se poté zvolí výpočet buď pro polaritu kladnou nebo zápornou. Oba výpočty jsou prakticky totožné, liší se jen vstupními daty. Pro výpočet je nezbytné znát rovnici voltsekundové charakteristiky v mocninném stavu:

$$U_f = \alpha T_c^r \quad (4.5)$$

Aby bylo možné z této rovnice vypočítat okamžik přeskoků, je nutné znát velikost napěťového impulzu. Tato velikost se vypočítá z času, za který čelo impulzu nabude hodnoty 100 kV (čím kratší čas, tím větší velikost impulzu). Jakmile je známa velikost impulzu, je možné vypočítat čas, při kterém dojde k přeskoku pomocí rovnice 4.6.

$$T_c = \left(\frac{\alpha}{U_f} \right)^{\frac{1}{-r}} \quad (4.6)$$

To by však docházelo k přeskoku při daném napětí vždy ve stejný čas, ale jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4, ve skutečnosti má tento čas náhodný charakter. Z toho důvodu byly určeny meze, ve kterých k přeskoku může docházet. Tyto meze jsou odvozeny ze zadané rovnice voltsekundové charakteristiky. Od konstanty α se odečte nebo přičte zvolené $\Delta\alpha$. Tím vzniknou dvě rovnice.

$$t_v = \left(\frac{\alpha_1}{U_f} \right)^{\frac{1}{-r}} \quad (4.7)$$

která určuje dolní mez, tj. nejkratší čas, za který může dojít k přeskoku a

$$t_{max} = \left(\frac{\alpha_2}{U_f} \right)^{\frac{1}{-r}} \quad (4.8)$$

která určuje horní mez, tj. nejdelší čas, za který může dojít k přeskoku. Tyto meze jsou znázorněny na obrázku 4.5. První rovnice představuje dobu výstavby a rozdíl obou rovnic vynásobený náhodným číslem od 0 – 1 pak představuje statistickou dobu přeskoků.

$$t_s = (t_{max} - t_v) \cdot c \quad (4.9)$$

Součet časů t_v a t_s udává konečný čas přeskoků T_c .

Dále je nutné určit pravděpodobnost přeskoků. Zadané hodnoty U a p určují dva body, ze kterých se pomocí vzorců 4.10, 4.11 a 4.12 vypočte rovnice pravděpodobnostní přímky. Z té je pak možno vypočíst pravděpodobnost přeskoků pro libovolné impulzní napětí.

$$k = \frac{p_1 - p_2}{U_1 - U_2} \quad (4.10)$$

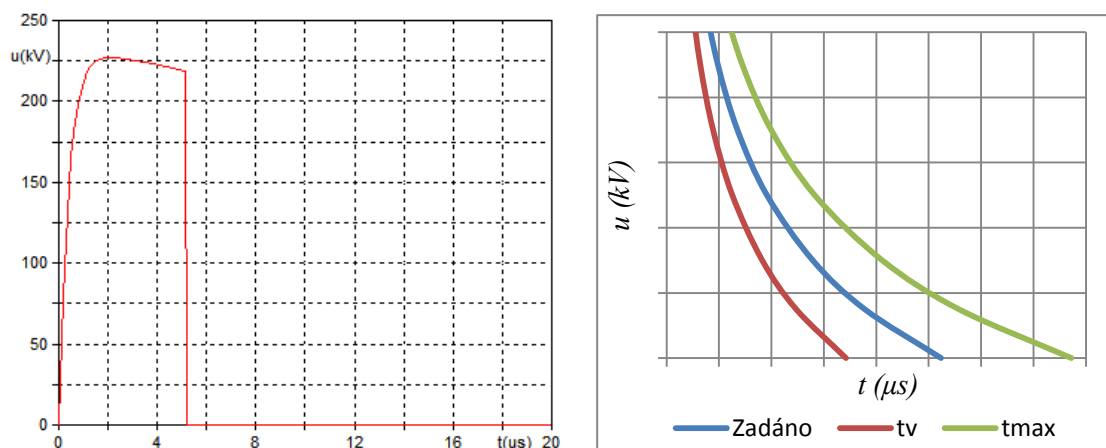
$$q = p_1 - (U_1 \cdot k) \quad (4.11)$$

$$p = (k \cdot U_f) + q \quad (4.12)$$

Jakmile je známa velikost napětí, čas přeskoků a pravděpodobnost, je přeskok podmíněn několika podmínkami:

- Přeskok nastane, až čas v simulaci překročí čas T_c
- Náhodně generované číslo od 0 do 1 musí být menší než pravděpodobnost p
- Napětí v okamžiku přeskoků musí být větší než nastavené statické napětí U_s

Jestli přeskok nastal, kdy a při jakém napětí je nutné odečíst z průběhu napětí v programu PlotXYWin. [3]



Obr. 4.5 Ukázka useknutého impulsu v PlotXYWin a znázornění mezí

4.4 Simulace

4.4.1 Simulace převzatého měření

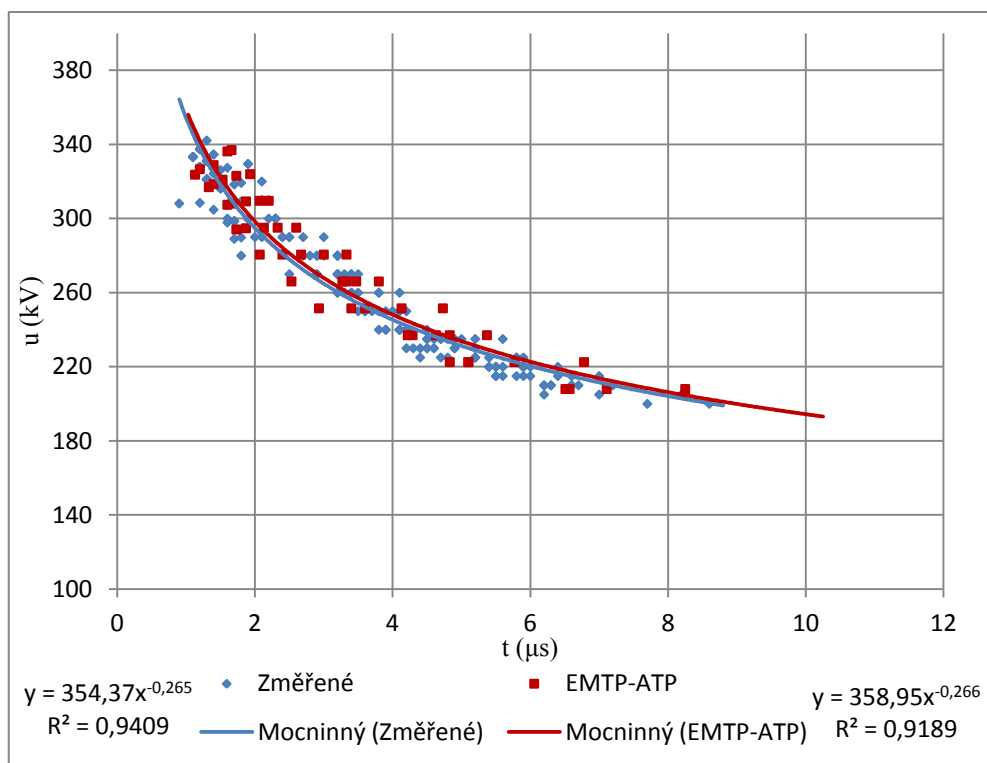
Nastavení modelu

alfa_klad	354,37
r_klad	-0,265
U1_klad	200
p1_klad	0,3
U2_klad	215
p2_klad	0,9
alfa_d_klad	7
Us_klad	180

Získané hodnoty

Tabulka velikostí napětí a časů získaných simulací se nachází v příloze E.

Charakteristika



Obr. 4.6 Porovnání voltsekundových charakteristik

4.4.2 Simulace vlastního měření

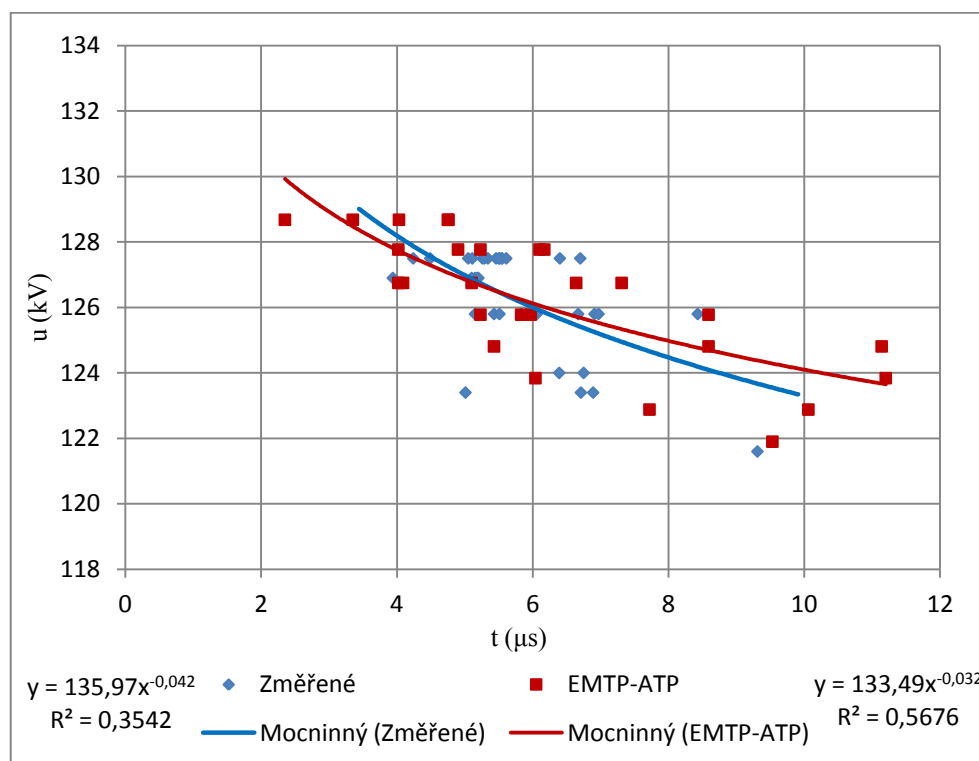
Nastavení modelu

alfa_klad	135,97
r_klad	-0,042
U1_klad	121,5
p1_klad	0,1
U2_klad	127
p2_klad	1
alfa_d_klad	2
Us_klad	100
alfa_zap	227,1
r_zap	-0,022
U1_zap	-209,4
p1_zap	0,4
U2_zap	-212,5
p2_zap	0,8
alfa_d_zap	5
Us_zap	-175

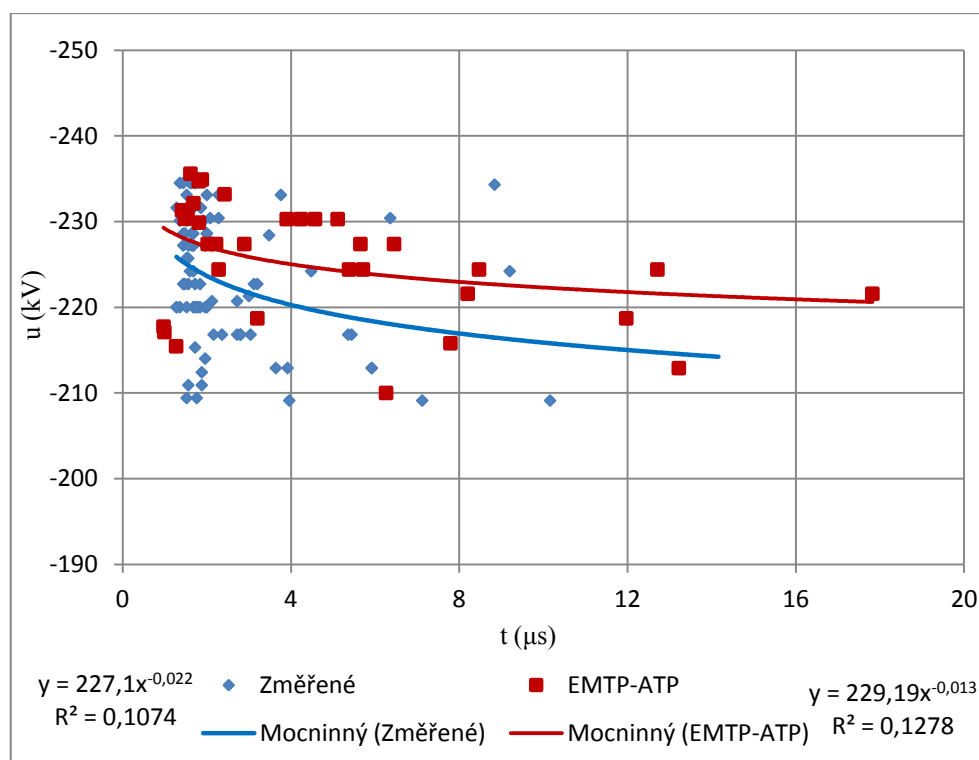
Získané hodnoty

Tabulka velikostí napětí a časů získaných simulací se nachází v příloze F.

Charakteristika



Obr. 4.7 Porovnání voltsekundových charakteristik pro kladnou polaritu



Obr. 4.8 Porovnání voltsekundových charakteristik pro zápornou polaritu

5. Závěr

Dle zadání byl podle dodaných naměřených hodnot přeskokových napětí vytvořen model měření v programu EMTP-ATP. V rámci této bakalářské práce bylo také provedeno měření vlastní, a to jak pro polaritu kladnou, tak i zápornou. Z toho důvodu byl následně i model rozšířen o možnost měřit obě polarity zkušebního impulzu. Pro správnou funkci modelu je potřeba znát změřenou voltsekundovou charakteristiku, která určuje chování přeskoků po přiložení atmosférického impulzu. Nejedná se tak sice přímo o simulaci v pravém slova smyslu, tímto modelem nelze simulovat přeskoková napětí na kterémkoli izolátoru při přiložení jakéhokoli napětí, aniž by předem došlo k reálnému měření, ale to taky nebylo ani cílem této práce.

Z porovnání hodnot změřených a hodnot vygenerovaných vytvořeným modelem na konci minulé kapitoly, je zřejmé, že pro voltsekundovou charakteristiku, která byla změřena Martinem Urbaniecem na izolátoru CPB 7.5/75a (Obr. 4.6), je model velice přesný. U vlastního měření na izolátoru EPL 62 4015B při kladné polaritě lze hodnoty získané modelem považovat také za poměrně přesné, ale při záporné polaritě je již možně vidět jisté nepřesnosti. Je však nutné vzít na vědomí statistický charakter těchto přeskoků, a že byl proveden pouze určitý počet skutečných i virtuálních měření. Při opakování měření tak mohou voltsekundové charakteristiky vypadat trochu jinak. Navíc, jak již bylo zmíněno v příslušné kapitole, bylo skutečné měření při záporné polaritě svým velkým rozptylem časů přeskoků poměrně atypické. Tento jev by mohl být v jiné práci podrobněji prozkoumán.

Tento model může posloužit například v předmětu Technika vysokého napětí jako ukázka měření přeskokových napětí v závislosti na čase, jelikož skutečné měření na impulzním generátoru by bylo časově velmi náročné. Studenti tak mohou být názorně seznámeni s významem statistické doby zpoždění na měření a zároveň si mohou všimnout, jaký vliv na velikost přeskokového napětí může mít polarita zkušebního impulzu.

6. Literatura

1. BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí: Systémová řešení ochran*. 1. vyd. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3
2. ČSN EN 60061-1. *Technika zkoušek vysokým napětím. Část 1: Obecné definice a požadavky na zkoušky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 345640.
3. EMTP User Group. *ATPRuleBook* [manuál k programu EMTP-ATP]. 1992.
4. KUFFEL E., ZAENGL W. S. a KUFEEL J. *High Voltage Engineering: Fundamentals*. 2nd edition. Oxford: Newnes, 2001. ISBN 0 7506 3634 3
5. MACH, Veleslav. *Technika vysokého napětí*. 2. přeprac. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1161-8
6. MALIK N. H., AL-ARAINY A. A. a QURESHI M. I. *Electrical Insulation in Power Systems*. New York: Marcel Dekker, 1998. ISBN 0-8247-0106-2
7. URBANIEC, Martin. *Měření přeskokového napětí pomocí SGSA 700-35*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra energetiky, 2008. 33 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Veleslav Mach
8. URBANIEC, Martin. *Měření s impulsním generátorem napětí*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra energetiky, 2010. 61 s. Vedoucí diplomové práce doc. Dr. Ing. Veleslav Mach
9. USHAKOV V. Y. *Insulation of High-Voltage Equipment*. Berlin: Springer-Verlag, 2004. ISBN 3-540-20729-5
10. VEVERKA, Antonín. *Technika vysokých napětí*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1978

7. Přílohy

Příloha A	Naměřené hodnoty z převzatého měření
Příloha B	Upravená tabulka hodnot z přílohy A
Příloha C	Naměřené hodnoty z vlastního měření
Příloha D	Upravená tabulka hodnot z přílohy C
Příloha E	Hodnoty získané modelem pro převzaté měření
Příloha F	Hodnoty získané modelem pro vlastní měření
Příloha G	Zdrojový kód modelu
Příloha na CD	Model izolátoru ve formátu .acp.

Příloha A - Tabulka hodnot z převzatého měření

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.	200	7,7
2.	200	8,6
3.	200	
4.	200	
5.	200	
6.	200	
7.	200	
8.	200	
9.	200	
10.	200	
11.	205	6,2
12.	205	
13.	205	
14.	205	
15.	205	
16.	205	7
17.	205	
18.	205	
19.	205	
20.	205	8,2
21.	210	7,2
22.	210	6,7
23.	210	6,6
24.	210	6,6
25.	210	
26.	210	6,3
27.	210	6,2
28.	210	
29.	210	6,3
30.	210	6,2
31.	215	5,6
32.	215	7
33.	215	5,5
34.	215	6,4
35.	215	
36.	215	5,8
37.	215	5,9
38.	215	6

	U _f (kV)	T _C (μs)
51.	225	5,8
52.	225	5,2
53.	225	4,8
54.	225	5,9
55.	225	5,8
56.	225	5,2
57.	225	4,7
58.	225	5,2
59.	225	4,4
60.	225	5,4
61.	230	4,3
62.	230	4,4
63.	230	4,9
64.	230	4,5
65.	230	4,6
66.	230	4,5
67.	230	4,2
68.	230	4,6
69.	230	5,2
70.	230	4,9
71.	235	4,8
72.	235	5,2
73.	235	4,6
74.	235	5
75.	235	5,6
76.	235	4,9
77.	235	4,5
78.	235	4,7
79.	235	4,5
80.	235	4,7
81.	240	4,5
82.	240	4,1
83.	240	4,1
84.	240	3,9
85.	240	4,1
86.	240	4,2
87.	240	4,2
88.	240	3,9

	U _f (kV)	T _C (μs)
101.	260	3,2
102.	260	3,5
103.	260	3,8
104.	260	4,1
105.	260	3,4
106.	260	3,4
107.	260	3,4
108.	260	3,2
109.	260	3,3
110.	260	3,8
111.	270	3,4
112.	270	2,9
113.	270	3,5
114.	270	2,5
115.	270	3,2
116.	270	3,4
117.	270	2,9
118.	270	3,3
119.	270	3,2
120.	270	3,2
121.	280	3
122.	280	3,2
123.	280	2,9
124.	280	2,9
125.	280	2,8
126.	280	3,2
127.	280	2,7
128.	280	1,8
129.	280	3,2
130.	280	3,2
131.	290	2,4
132.	290	1,8
133.	290	2
134.	290	2,5
135.	290	2,4
136.	290	2,7
137.	290	2,5
138.	290	3

	U _f (kV)	T _C (μs)
151.	310	2,1
152.	310	1,7
153.	310	2,2
154.	310	1,8
155.	310	1,7
156.	310	1,8
157.	310	1,6
158.	310	2,1
159.	310	1,4
160.	310	1,7
161.	320	2,1
162.	320	1,8
163.	320	1,2
164.	320	1,5
165.	320	1,7
166.	320	1,5
167.	320	1,5
168.	320	1,5
169.	320	1,5
170.	320	1,5
171.	330	1,4
172.	330	1,9
173.	330	1,3
174.	330	1,3
175.	330	1,9
176.	330	1,3
177.	330	1,3
178.	330	1,6
179.	330	1,3
180.	330	1,5
181.	340	1,2
182.	340	1,3
183.	340	1,2
184.	340	1,3
185.	340	1,4
186.	340	0,9
187.	340	1,2
188.	340	1,3

39.	215	6,6
40.	215	5,5
41.	220	5,9
42.	220	5,6
43.	220	5,9
44.	220	5,5
45.	220	5,9
46.	220	5,4
47.	220	6,4
48.	220	5,4
49.	220	6
50.	220	5,5

89.	240	3,8
90.	240	4,1
91.	250	4,1
92.	250	4,2
93.	250	4
94.	250	3,9
95.	250	3,6
96.	250	3,8
97.	250	3,5
98.	250	3,7
99.	250	4,1
100.	250	3,6

139.	290	1,7
140.	290	2,1
141.	300	2,3
142.	300	2,2
143.	300	1,7
144.	300	1,6
145.	300	1,7
146.	300	1,9
147.	300	2,3
148.	300	2,3
149.	300	1,7
150.	300	1,6

189.	340	1,2
190.	340	1,4
191.	350	1,3
192.	350	1,1
193.	350	1,1
194.	350	1,2
195.	350	1,2
196.	350	1,1
197.	350	1,2
198.	350	1,2
199.	350	1,1
200.	350	1,1

Příloha B – Upravená tabulka hodnot z přílohy A

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.	200	7,7
2.	200	8,6
3.	200	
4.	200	
5.	200	
6.	200	
7.	200	
8.	200	
9.	200	
10.	200	
11.	205	6,2
12.	205	
13.	205	
14.	205	
15.	205	
16.	205	7
17.	205	
18.	205	
19.	205	
20.	205	8,2
21.	210	7,2
22.	210	6,7
23.	210	6,6
24.	210	6,6
25.	210	
26.	210	6,3
27.	210	6,2
28.	210	
29.	210	6,3
30.	210	6,2
31.	215	5,6
32.	215	7
33.	215	5,5
34.	215	6,4
35.	215	
36.	215	5,8
37.	215	5,9
38.	215	6
39.	215	6,6
40.	215	5,5

	U _f (kV)	T _C (μs)
51.	225	5,8
52.	225	5,2
53.	225	4,8
54.	225	5,9
55.	225	5,8
56.	225	5,2
57.	225	4,7
58.	225	5,2
59.	225	4,4
60.	225	5,4
61.	230	4,3
62.	230	4,4
63.	230	4,9
64.	230	4,5
65.	230	4,6
66.	230	4,5
67.	230	4,2
68.	230	4,6
69.	230	5,2
70.	230	4,9
71.	235	4,8
72.	235	5,2
73.	235	4,6
74.	235	5
75.	235	5,6
76.	235	4,9
77.	235	4,5
78.	235	4,7
79.	235	4,5
80.	235	4,7
81.	240	4,5
82.	240	4,1
83.	240	4,1
84.	240	3,9
85.	240	4,1
86.	240	4,2
87.	240	4,2
88.	240	3,9
89.	240	3,8
90.	240	4,1

	U _f (kV)	T _C (μs)
101.	260	3,2
102.	260	3,5
103.	260	3,8
104.	260	4,1
105.	260	3,4
106.	260	3,4
107.	260	3,4
108.	260	3,2
109.	260	3,3
110.	260	3,8
111.	270	3,4
112.	270	2,9
113.	270	3,5
114.	270	2,5
115.	270	3,2
116.	270	3,4
117.	270	2,9
118.	270	3,3
119.	270	3,2
120.	270	3,2
121.	280	3
122.	280	3,2
123.	280	2,9
124.	280	2,9
125.	280	2,8
126.	280	3,2
127.	280	2,7
128.	280	1,8
129.	280	3,2
130.	280	3,2
131.	290	2,4
132.	289,78*	1,8
133.	290	2
134.	290	2,5
135.	290	2,4
136.	290	2,7
137.	290	2,5
138.	290	3
139.	289,02*	1,7
140.	290	2,1

	U _f (kV)	T _C (μs)
151.	310	2,1
152.	308,29*	1,7
153.	310	2,2
154.	309,1	1,8
155.	308,29*	1,7
156.	309,1	1,8
157.	307,44*	1,6
158.	310	2,1
159.	304,78*	1,4
160.	308,29*	1,7
161.	320	2,1
162.	319,24*	1,8
163.	308,47*	1,2
164.	316,35*	1,5
165.	318,4*	1,7
166.	316,35*	1,5
167.	316,35*	1,5
168.	316,35*	1,5
169.	316,35*	1,5
170.	316,35*	1,5
171.	324,24*	1,4
172.	329,53*	1,9
173.	321,19*	1,3
174.	321,19*	1,3
175.	329,53*	1,9
176.	321,19*	1,3
177.	321,19*	1,3
178.	327,43*	1,6
179.	321,19*	1,3
180.	326,21*	1,5
181.	327,88*	1,2
182.	331,09*	1,3
183.	327,88*	1,2
184.	331,09*	1,3
185.	334,59*	1,4
186.	308,14*	0,9
187.	327,88*	1,2
188.	331,09*	1,3
189.	327,88*	1,2
190.	334,59*	1,4

41.	220	5,9
42.	220	5,6
43.	220	5,9
44.	220	5,5
45.	220	5,9
46.	220	5,4
47.	220	6,4
48.	220	5,4
49.	220	6
50.	220	5,5

91.	250	4,1
92.	250	4,2
93.	250	4
94.	250	3,9
95.	250	3,6
96.	250	3,8
97.	250	3,5
98.	250	3,7
99.	250	4,1
100.	250	3,6

141.	300	2,3
142.	300	2,2
143.	298,65*	1,7
144.	300	1,6
145.	298,65*	1,7
146.	299,75*	1,9
147.	300	2,3
148.	300	2,3
149.	298,65*	1,7
150.	297,84*	1,6

191.	342,14*	1,3
192.	333,28*	1,1
193.	333,28*	1,1
194.	337,5*	1,2
195.	337,5*	1,2
196.	333,28*	1,1
197.	337,5*	1,2
198.	337,5*	1,2
199.	333,28*	1,1
200.	333,28*	1,1

*Hodnoty získány modelem v EMTP-ATP.

Příloha C – Naměřené hodnoty z vlastního měření

	U _f nastavené (kV)	U _f skutečné (kV)	T _N (s)	T _C (μs)		U _f nastavené (kV)	U _f skutečné (kV)	T _N (s)	T _C (μs)
1.	100	98	30		120.	-160	-154,9	20	
2.	100	97,7	30		121.	-170	-165,2	21,3	
3.	100	97,8	30		122.	-170	-165,2	21,3	
4.	100	97,8	30		123.	-170	-165,2	21,3	
5.	100	97,9	30		124.	-180	-175,5	22,5	
6.	100	97,7	30		125.	-190	-184	23,8	
7.	100	98	30		126.	-200	-194,7	25	
8.	100	98	30		127.	-210	-203,6	26,3	
9.	100	97,9	30		128.	-220	-213,9	27,5	
10.	100	97,9	30		129.	-230	-221,3	28,8	3
11.	110	107,9	14		130.	-230	-222,7	28,8	3,12
12.	110	107,9	14		131.	-230	-222,7	28,8	
13.	110	107,9	14		132.	-230	-224,7	28,8	
14.	110	108	14		133.	-230	-224,2	28,8	9,2
15.	110	108	14		134.	-230	-222,4	28,8	
16.	110	107,9	14		135.	-230	-222,4	28,8	
17.	110	107,9	14		136.	-230	-224,2	28,8	
18.	110	107,9	14		137.	-230	-222,7	28,8	3,2
19.	110	108	14		138.	-230	-224,2	28,8	4,48
20.	110	107,9	14		139.	-240	-233,1	30	3,76
21.	120	117,5	15		140.	-240	-233,1	30	
22.	120	117,6	15		141.	-240	-231,6	30	1,86
23.	120	117,6	15		142.	-240	-233,1	30	2,28
24.	120	117,6	15		143.	-240	-231,6	30	1,64
25.	120	117,8	15		144.	-240	-230,1	30	1,52
26.	120	117,6	15		145.	-240	-231,6	30	1,68
27.	120	117,6	15		146.	-240	-231,6	30	1,64
28.	120	117,6	15		147.	-240	-230,1	30	1,36
29.	120	117,6	15		148.	-240	-231,6	30	1,52
30.	120	117,6	15		149.	-242	-231,6	30,3	1,28
31.	130	127,5	17	6,7	150.	-242	-234,5	30,3	1,72
32.	130	127,5	17	5,05	151.	-242	-233,1	30,3	1,52
33.	130	127,5	17	5,26	152.	-242	-234,5	30,3	1,36
34.	130	127,5	17	5,54	153.	-242	-234,5	30,3	1,6
35.	130	127,5	17	5,34	154.	-242	-234,5	30,3	1,64
36.	130	127,5	17	5,29	155.	-242	-234,5	30,3	1,44
37.	130	127,5	17	5,46	156.	-242	-234,5	30,3	
38.	130	127,5	17	4,49	157.	-242	-216,8*	30,3	8,84
39.	130	127,5	17	5,11	158.	-242	-233,1	30,3	2
40.	130	127,5	17	5,5	159.	-238	-228,6	30	2

41.	122	119,3	17	
42.	122	119,4	17	
43.	122	119,4	17	
44.	122	119,5	17	
45.	122	119,6	17	
46.	122	119,5	17	
47.	122	119,4	17	
48.	122	119,6	17	
49.	122	119,4	17	
50.	122	119,6	17	
51.	124	121,5	17	
52.	124	121,5	17	
53.	124	121,4	17	
54.	124	121,5	17	
55.	124	121,5	17	
56.	124	121,4	17	
57.	124	121,6	17	9,31
58.	124	121,4	17	
59.	124	121,6	17	
60.	124	121,4	17	
61.	126	123,4	17	
62.	126	123,5	17	
63.	126	123,4	17	
64.	126	123,4	17	5,01
65.	126	123,4	17	6,89
66.	126	124	17	6,39
67.	126	123,4	17	6,71
68.	126	123,4	17	
69.	126	123,4	17	
70.	126	124	17	6,75
71.	128	125,8	17	6,67
72.	128	125,8	17	5,15
73.	128	125,8	17	5,43
74.	128	125,8	17	6,91
75.	128	125,3	17	
76.	128	125,8	17	5,83
77.	128	125,8	17	6,06
78.	128	125,8	17	8,43
79.	128	125,8	17	6,97
80.	128	125,8	17	5,51
81.	-130	-126,8	17	
82.	-130	-126,8	17	
83.	-130	-126,8	17	

160.	-238	-220*	30	6,36
161.	-238	-227,2*	30	2,28
162.	-238	-228,6	30	1,68
163.	-238	-230,1	30	1,92
164.	-238	-228,6	30	1,44
165.	-238	-228,6	30	1,64
166.	-238	-228,6*	30	2,08
167.	-238	-228,6	30	2
168.	-238	-228,6	30	1,48
169.	-236	-227,2	30	1,96
170.	-236	-225,7	30	1,52
171.	-236	-224,2*	30	3,48
172.	-236	-225,7	30	1,56
173.	-236	-227,2	30	1,68
174.	-236	-227,2	30	1,68
175.	-236	-227,2	30	1,44
176.	-236	-227,2	30	1,64
177.	-236	-227,2	30	1,56
178.	-236	-225,7	30	1,52
179.	-232	-224,2	30	1,6
180.	-232	-224,2	30	1,68
181.	-232	-220	30	1,36
182.	-232	-220	30	1,28
183.	-232	-222,7	30	1,84
184.	-232	-222,7	30	1,48
185.	-232	-220	30	1,28
186.	-232	-222,7	30	1,56
187.	-232	-222,7	30	1,44
188.	-232	-222,7	30	1,72
189.	-228	-220	30	1,68
190.	-228	-220	30	1,72
191.	-228	-220	30	1,52
192.	-228	-220	30	1,96
193.	-228	-220	30	1,84
194.	-228	-220	30	2
195.	-228	-221,3*	30	2,12
196.	-228	-220	30	1,8
197.	-228	-216,8*	30	2,72
198.	-228	-220	30	1,76
199.	-224	-215,3*	30	2,36
200.	-224	-215,3*	30	2,16
201.	-224	-214	30	1,96
202.	-224	-213,9*	30	2,8

84.	-130	-126,8	17		203.	-224	-212,4*	30	3,04
85.	-130	-126,8	17		204.	-224	-215,3	30	1,72
86.	-130	-126,8	17		205.	-224	-208*	30	5,44
87.	-130	-126,8	17		206.	-224	-208*	30	5,36
88.	-130	-126,8	17		207.	-224	-215,3*	30	2,72
89.	-130	-126,8	17		208.	-224	-213,9*	30	2,8
90.	-130	-126,8	17		209.	-220	-202*	30	5,92
91.	-140	-136,3	17,5		210.	-220	-206,5*	30	3,92
92.	-140	-136,3	17,5		211.	-220	-208*	30	3,64
93.	-140	-136,9	17,5		212.	-220	-210,9	30	1,88
94.	-140	-136,3	17,5		213.	-220	-209,4	30	1,52
95.	-140	-136,9	17,5		214.	-220	-202*	30	5,92
96.	-140	-136,3	17,5		215.	-220	-210,9	30	1,56
97.	-140	-136,3	17,5		216.	-220	-212,4	30	
98.	-140	-136,3	17,5		217.	-220	-212,4	30	
99.	-140	-136,3	17,5		218.	-220	-212,4	30	1,88
100.	-140	-136,9	17,5		219.	-216	-187,3*	30	10,16
101.	-150	-146,3	18,8		220.	-216	-209,4	30	1,76
102.	-150	-146,3	18,8		221.	-216	-209,4	30	
103.	-150	-146,3	18,8		222.	-216	-209,4	30	
104.	-150	-146,3	18,8		223.	-216	-209,4	30	
105.	-150	-146,3	18,8		224.	-216	-209,4	30	
106.	-150	-146,3	18,8		225.	-216	-209,6*	30	3,96
107.	-150	-146,3	18,8		226.	-216	-209,4	30	
108.	-150	-146,3	18,8		227.	-216	-209,4	30	
109.	-150	-146,3	18,8		228.	-216	-194,7*	30	7,12
110.	-150	-146,3	18,8		229.	130	126,9	16,8	3,94
111.	-160	-154,9	20		230.	130	127,5	16,8	5,55
112.	-160	-154,9	20		231.	130	127,5	16,8	4,24
113.	-160	-154,9	20		232.	130	126,9	16,8	5,15
114.	-160	-154,9	20		233.	130	126,9	16,8	5,2
115.	-160	-154,9	20		234.	130	126,9	16,8	5,1
116.	-160	-154,9	20		235.	130	127,5	16,8	5,51
117.	-160	-154,9	20		236.	130	127,5	16,8	5,61
118.	-160	-154,9	20		237.	130	127,5	16,8	6,4
119.	-160	-154,9	20		238.	130	126,9	16,8	5,18

*Hodnota napětí v čase přeskočků, přestože nastal až v týlu.

Příloha D – Upravená tabulka hodnot z přílohy C

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.	98	
2.	97,7	
3.	97,8	
4.	97,8	
5.	97,9	
6.	97,7	
7.	98	
8.	98	
9.	97,9	
10.	97,9	
11.	107,9	
12.	107,9	
13.	107,9	
14.	108	
15.	108	
16.	107,9	
17.	107,9	
18.	107,9	
19.	108	
20.	107,9	
21.	117,5	
22.	117,6	
23.	117,6	
24.	117,6	
25.	117,8	
26.	117,6	
27.	117,6	
28.	117,6	
29.	117,6	
30.	117,6	
31.	127,5	6,7
32.	127,5	5,05
33.	127,5	5,26
34.	127,5	5,54
35.	127,5	5,34
36.	127,5	5,29
37.	127,5	5,46
38.	127,5	4,49
39.	127,5	5,11
40.	127,5	5,5

	U _f (kV)	T _C (μs)
61.	123,4	
62.	123,5	
63.	123,4	
64.	123,4	5,01
65.	123,4	6,89
66.	124	6,39
67.	123,4	6,71
68.	123,4	
69.	123,4	
70.	124	6,75
71.	125,8	6,67
72.	125,8	5,15
73.	125,8	5,43
74.	125,8	6,91
75.	125,3	
76.	125,8	5,83
77.	125,8	6,06
78.	125,8	8,43
79.	125,8	6,97
80.	125,8	5,51
81.	-126,8	
82.	-126,8	
83.	-126,8	
84.	-126,8	
85.	-126,8	
86.	-126,8	
87.	-126,8	
88.	-126,8	
89.	-126,8	
90.	-126,8	
91.	-136,3	
92.	-136,3	
93.	-136,9	
94.	-136,3	
95.	-136,9	
96.	-136,3	
97.	-136,3	
98.	-136,3	
99.	-136,3	
100.	-136,9	

	U _f (kV)	T _C (μs)
121.	-165,2	
122.	-165,2	
123.	-165,2	
124.	-175,5	
125.	-184	
126.	-194,7	
127.	-203,6	
128.	-213,9	
129.	-221,3	3
130.	-222,7	3,12
131.	-222,7	
132.	-224,7	
133.	-224,2	9,2
134.	-222,4	
135.	-222,4	
136.	-224,2	
137.	-222,7	3,2
138.	-224,2	4,48
139.	-233,1	3,76
140.	-233,1	
141.	-231,6	1,86
142.	-233,1	2,28
143.	-231,6	1,64
144.	-230,1	1,52
145.	-231,6	1,68
146.	-231,6	1,64
147.	-230,1	1,36
148.	-231,6	1,52
149.	-231,6	1,28
150.	-234,5	1,72
151.	-233,1	1,52
152.	-234,5	1,36
153.	-234,5	1,6
154.	-234,5	1,64
155.	-234,5	1,44
156.	-234,5	
157.	-234,3*	8,84
158.	-233,1	2
159.	-228,6	2
160.	-230,4*	6,36

	U _f (kV)	T _C (μs)
181.	-220	1,36
182.	-220	1,28
183.	-222,7	1,84
184.	-222,7	1,48
185.	-220	1,28
186.	-222,7	1,56
187.	-222,7	1,44
188.	-222,7	1,72
189.	-220	1,68
190.	-220	1,72
191.	-220	1,52
192.	-220	1,96
193.	-220	1,84
194.	-220	2
195.	-220,7*	2,12
196.	-220	1,8
197.	-220,7*	2,72
198.	-220	1,76
199.	-216,8*	2,36
200.	-216,8*	2,16
201.	-214	1,96
202.	-216,8*	2,8
203.	-216,8*	3,04
204.	-215,3	1,72
205.	-216,8*	5,44
206.	-216,8*	5,36
207.	-216,8*	2,72
208.	-216,8*	2,8
209.	-212,9*	5,92
210.	-212,9*	3,92
211.	-212,9*	3,64
212.	-210,9	1,88
213.	-209,4	1,52
214.	-212,9*	5,92
215.	-210,9	1,56
216.	-212,4	
217.	-212,4	
218.	-212,4	1,88
219.	-209,1*	10,16
220.	-209,4	1,76

41.	119,3	
42.	119,4	
43.	119,4	
44.	119,5	
45.	119,6	
46.	119,5	
47.	119,4	
48.	119,6	
49.	119,4	
50.	119,6	
51.	121,5	
52.	121,5	
53.	121,4	
54.	121,5	
55.	121,5	
56.	121,4	
57.	121,6	9,31
58.	121,4	
59.	121,6	
60.	121,4	

101.	-146,3	
102.	-146,3	
103.	-146,3	
104.	-146,3	
105.	-146,3	
106.	-146,3	
107.	-146,3	
108.	-146,3	
109.	-146,3	
110.	-146,3	
111.	-154,9	
112.	-154,9	
113.	-154,9	
114.	-154,9	
115.	-154,9	
116.	-154,9	
117.	-154,9	
118.	-154,9	
119.	-154,9	
120.	-154,9	

161.	-230,4*	2,28
162.	-228,6	1,68
163.	-230,1	1,92
164.	-228,6	1,44
165.	-228,6	1,64
166.	-230,4*	2,08
167.	-228,6	2
168.	-228,6	1,48
169.	-227,2	1,96
170.	-225,7	1,52
171.	-228,4*	3,48
172.	-225,7	1,56
173.	-227,2	1,68
174.	-227,2	1,68
175.	-227,2	1,44
176.	-227,2	1,64
177.	-227,2	1,56
178.	-225,7	1,52
179.	-224,2	1,6
180.	-224,2	1,68

221.	-209,4	
222.	-209,4	
223.	-209,4	
224.	-209,4	
225.	-209,1*	3,96
226.	-209,4	
227.	-209,4	
228.	-209,1*	7,12
229.	126,9	3,94
230.	127,5	5,55
231.	127,5	4,24
232.	126,9	5,15
233.	126,9	5,2
234.	126,9	5,1
235.	127,5	5,51
236.	127,5	5,61
237.	127,5	6,4
238.	126,9	5,18
239.		
240.		

*Velikost napětí byla vypočtena modelem v EMTP-ATP

Příloha E – Hodnoty získané modelem pro převzaté měření

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.	208,01	7,11
7.	208,01	6,57
8.	208,01	8,25
9.	208,01	6,51
10.	208,01	
11.	222,53	4,83
12.	222,53	5,1
13.	222,53	5,77
14.	222,53	5,1

	U _f (kV)	T _C (μs)
15.	222,53	6,78
16.	237,05	4,63
17.	237,05	4,29
18.	237,05	5,37
19.	237,05	4,83
20.	237,05	4,22
21.	251,55	4,13
22.	251,55	3,4
23.	251,55	2,93
24.	251,55	3,6
25.	251,55	4,73
26.	266,06	3,33
27.	266,06	3,27
28.	266,06	2,53

	U _f (kV)	T _C (μs)
29.	266,06	3,8
30.	266,06	3,47
31.	280,57	2,67
32.	280,57	3,33
33.	280,57	3
34.	280,57	2,4
35.	280,57	2,07
36.	294,78	1,87
37.	295,08	2,13
38.	294,14	1,73
39.	295,08	2,6
40.	295,08	2,33
41.	309,6	2,2
42.	307,44	1,6

	U _f (kV)	T _C (μs)
43.	308,1	1,67
44.	309,28	1,87
45.	309,6	2,07
46.	323,07	1,73
47.	320,99	1,53
48.	323,98	1,93
49.	318,6	1,4
50.	316,97	1,33
51.	323,69	1,13
52.	336,99	1,66
53.	326,67	1,2
54.	328,86	1,4
55.	336,27	1,6
56.		

Příloha F – Hodnoty získané modelem pro vlastní měření

Kladná polarita

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.	120,94	
2.	120,94	
3.	120,94	
4.	120,94	
5.	120,94	
6.	121,9	
7.	121,9	
8.	121,9	
9.	121,9	
10.	121,9	9,53
11.	122,88	
12.	122,88	

	U _f (kV)	T _C (μs)
13.	122,88	10,06
14.	122,88	
15.	122,88	7,72
16.	123,84	
17.	123,84	11,2
18.	123,84	
19.	123,84	
20.	123,84	6,04
21.	124,81	5,43
22.	124,81	11,14
23.	124,81	
24.	124,81	

	U _f (kV)	T _C (μs)
25.	124,81	8,59
26.	125,78	5,97
27.	125,78	5,23
28.	125,78	8,59
29.	125,78	5,83
30.	125,78	
31.	126,75	4,09
32.	126,75	7,31
33.	126,75	5,1
34.	126,75	4,02
35.	126,75	6,64
36.	127,77	4,9

	U _f (kV)	T _C (μs)
37.	127,77	4,02
38.	127,77	6,17
39.	127,77	6,1
40.	127,77	5,23
41.	128,68	4,76
42.	128,68	2,35
43.	128,68	4,75
44.	128,68	4,03
45.	128,68	3,35

Záporná polarita

	U _f (kV)	T _C (μs)
1.	-209,9	
2.	-209,9	
3.	-209,9	
4.	-209,9	
5.	-209,9	6,26
6.	-212,9	
7.	-212,9	
8.	-212,9	
9.	-212,9	13,22
10.	-212,9	
11.	-215,8	
12.	-215,8	
13.	-215,8	

	U _f (kV)	T _C (μs)
14.	-215,8	7,79
15.	-215,8	
16.	-218,7	
17.	-218,7	
18.	-218,7	11,97
19.	-218,7	
20.	-218,7	3,2
21.	-221,6	8,2
22.	-221,6	17,82
23.	-215,4	1,27
24.	-221,6	
25.	-221,6	
26.	-224,4	5,71

	U _f (kV)	T _C (μs)
27.	-224,4	8,47
28.	-224,4	5,38
29.	-224,4	12,71
30.	-224,4	2,28
31.	-227,4	2,22
32.	-227,4	5,65
33.	-227,4	2,02
34.	-227,4	6,45
35.	-227,4	2,89
36.	-230,3	4,23
37.	-229,9	1,81
38.	-230,3	4,57
39.	-230,3	5,11

	U _f (kV)	T _C (μs)
40.	-230,3	3,9
41.	-231,1	1,54
42.	-230,3	1,48
43.	-217,1	0,99
44.	-233,2	2,42
45.	-232,1	1,68
46.	-217,8	0,97
47.	-234,9	1,88
48.	-231,3	1,41
49.	-235,6	1,61
50.	-234,7	1,81

Příloha G – Zdrojový kód modelu

```
MODEL izolator
DATA alfa_klad, r_klad, U1_klad, p1_klad, U2_klad, p2_klad,
alfa_d_klad, Us_klad, alfa_zap, r_zap, U1_zap, p1_zap, U2_zap,
p2_zap, alfa_d_zap, Us_zap
INPUT Ui, Uo
OUTPUT spinac
VAR spinac, u, Umax, tu, tv, Tc, tmax, ts, a, k, q, p, alfa1, alfa2,
alfa_delta, c1, c2
INIT spinac:=0, u:=0, Umax:=inf, tu:=0.8, tv:=inf, Tc:=inf,
tmax:=inf, ts:=0, a:=0, k:=0.00004, q:=-7.7, p:=0.4, alfa1:=334,
alfa2:=inf, alfa_delta:=0
c1:=random(), c2:=random()
ENDINIT
EXEC
u:=(Ui-Uo)
-----kladna polarita-----
IF u>0
THEN
IF u>100000
THEN
a:=a+1
ENDIF
IF a=1
THEN
tu:=t*1e6
ENDIF
alfa_delta:=(alfa_klad/100)*alfa_d_klad --prevod z procent
alfa1:=alfa_klad-alfa_delta --alfa pro dolni mez
alfa2:=alfa_klad+alfa_delta --alfa pro horni mez

Umax:=(2342.6*(tu**6))-(20910*(tu**5))+(44657*(tu**4))-
(42071*(tu**3))+(20354*(tu**2))-(5226.3*tu)+751.83 -- prevod casu na
napeti
tv:=((alfa1/Umax)**(1/(-r_klad))) -- doba vystavby
tmax:=((alfa2/Umax)**(1/(-r_klad))) -- maximalni doba
ts:=(tmax-tv)*c1 --staticka doba s nahodilosti
Tc:=(tv+ts)*1e-6 --cas preskoku

k:=(p1_klad-p2_klad)/(U1_klad-U2_klad) --parametr k
q:=p1_klad-(U1_klad*k) --parametr q
p:=(k*Umax)+q --zavislost pravdepodobnosti preskoku na napeti

IF t>Tc --porovnani casu
THEN
IF c2<p --porovnani pravdepodobnosti
THEN
IF Tc>1e-6
THEN
IF u>(Us_klad*1e3) --porovnani statickeho napeti
THEN
spinac:=1 -- sepnuti spinace
ENDIF
ENDIF
IF Tc<1e-6
THEN
```

```

IF u>((Us_klad*1e3)+((Umax*1e3)/4)) --zamezeni preskoku pri malych
casech pri velkych prepetich
THEN
spinac:=1
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
-----zaporna polarita-----
if u<0
then
IF u<-100000
THEN
a:=a+1
ENDIF
IF a=1
THEN
tu:=t*1e6
ENDIF
alfa_delta:=(alfa_zap/100)*alfa_d_zap
alfa1:=alfa_zap-alfa_delta
alfa2:=alfa_zap+alfa_delta

Umax:=(2342.6*(tu**6))-(20910*(tu**5))+(44657*(tu**4))-
(42071*(tu**3))+(20354*(tu**2))-(5226.3*tu)+751.83 -- prevod casu na
napeti
tv:=(alfa1/Umax)**(1/(-r_zap))
tmax:=(alfa2/Umax)**(1/(-r_zap))
ts:=(tmax-tv)*c1
Tc:=(tv+ts)*1e-6

k:=(p1_zap-p2_zap)/(abs(U1_zap)-abs(U2_zap))
q:=p1_zap-(abs(U1_zap)*k)
p:=(k*Umax)+q
IF t>Tc
THEN
IF c2<p
THEN
IF Tc>1e-6
THEN
IF u<(Us_zap*1e3)
THEN
spinac:=1
ENDIF
ENDIF
IF Tc<1e-6
THEN
IF u<((Us_zap*1e3)-((Umax*1e3)/5.5))
THEN
spinac:=1
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL

```